

基于五面 LED-CAVE 虚拟现实仿真技术的水电站检修仿真系统研究与应用

吕毅松¹, 孔吉宏¹, 施 涛², 丘恩华¹, 吴 超², 王宇轩², 罗 茜¹

(1. 南方电网调峰调频发电有限公司, 广州 510630; 2. 中冶智诚(武汉)工程技术有限公司, 武汉 430073)

摘要:研究一种基于虚拟现实技术的水电站检修仿真系统,通过虚拟现实平台将水电站三维模型与五面 LED-CAVE 显示系统进行整合,通过虚拟现实平台编写交互逻辑功能程序,赋予静态的水电站三维模型交互的能力。通过构建厂区厂房及周边环境的三维模型、厂房内部设备机组的精确三维模型,利用虚拟现实平台将数据层的模型数据、培训评价业务数据与平台层的仿真系统进行整合,实现场景漫游功能、设备认知功能、透视展示功能、剖切展示功能、设备拆解功能、设备安装功能、信息呈现功能以及虚实交互功能。

关键词:五面 LED-CAVE;虚拟现实;仿真技术;检修仿真

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)01-0249-04

虚拟现实技术(virtual reality, VR)汇集了计算机图形学、多媒体技术、人工智能、人机交互技术、传感器技术、高度并行的实时计算技术和人的行为学研究等多项关键技术^[1]。

近年来,借助虚拟现实技术,员工在水电站检修仿真中有了更好的实践体验^[2]。仿真培训相较于传统的技能培训更能及时反馈出问题,虚拟真实的场景更能直观地表达和传递更多的信息内容。水电站培训的过程更强调实操培训和注重实践能力^[3]。为了提高学员在工作中遇到各种情况的应变能力以及承受能力,同时在保证人员安全的情况下,借助虚拟现实技术设计开发相关的检修仿真系统,让员工在虚拟的环境下进行培训,体验创新的培训形式。

1 虚拟现实仿真方式

目前基于三维可视化引擎研发的虚拟仿真系统基本上属于以下几种形式:①使用三维引擎,在图形工作站 PC 端研发相关系统,交互设备采用鼠标键盘等方式进行^[4];②使用三维引擎,借助虚拟现实头盔当作交互外设,用户可通过虚拟现实的头显置身虚拟场景当中,左右手分别持虚拟现实手柄来对场景进行交互^[5]。

但这两种方式在检修培训中都会有不同的优

缺点。第一种方式的培训系统可以实现检修培训课件的交互设计及拆装流程,但用户的操作局限在鼠标、键盘上,对虚拟场景中的模型零件拆装认知比较单一,鼠标键盘的操作方式不能给受训者带来深刻的培训体验,没有代入感;第二种方式的培训系统相对于第一种则大大增强了用户的操作体验,在全沉浸式的视野中利用虚拟手柄对设备机组模型进行交互,但是这种方式只适用于单人培训,并且视野非常有限。

本系统利用三维精确建模构建水电厂的虚拟三维场景,能够有效增强培训对象的视听感受,强化其对学习内容的理解;利用三维引擎和数据库构建设备拆装、检修流程及应急演练等实操场景;利用虚拟现实沉浸式头盔和体感交互设备进一步增强场景直观感受。该方法通过虚拟现实仿真,能够逼真直观地构建整个电厂的三维场景,在三维场景基础上通过业务培训内容模拟电厂巡视、倒闸、检修等日常操作,培训过程中操作安全、沉浸度高、直观性强、培训周期短,具有良好的应用前景。

2 系统架构与系统实现

2.1 系统架构

如图 1 所示,本实例提供了一种基于虚拟现实技术的水电站检修仿真培训系统,通过虚拟现实平

收稿日期:2021-09-10

基金项目:中国南方电网有限责任公司重点科技项目(020000KK52160004)。

作者简介:吕毅松(1986—),男,河南三门峡人,南方电网调峰调频发电有限公司,主管,工程师,研究方向为水电站虚拟仿真。

台将水电站三维模型与五面 LED-CAVE 显示系统进行整合,通过虚拟现实平台编写交互逻辑功能程序,赋予静态的水电站三维模型交互能力。

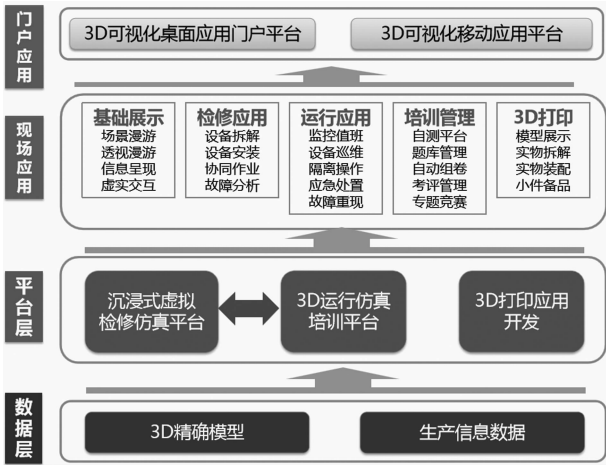


图 1 系统整体架构

平台层包括沉浸式虚拟检修仿真平台、3D 运行仿真培训平台及 3D 打印应用开发平台。其中沉浸

式检修平台为五面 LED-CAVE 沉浸式虚拟仿真系统,五面 LED 显示屏、光学跟踪定位系统以及信号同步显示系统,平台层位于应用层和数据层之间,用于提供沉浸式虚拟仿真环境。

应用层利用虚拟现实平台将数据层的模型数据、培训业务数据与平台层的仿真系统进行整合,实现场景漫游功能、设备认知功能、透视展示功能、剖切展示功能、设备拆解功能、设备安装功能、信息呈现功能以及虚实交互功能。

2.2 系统实现

系统组成如图 2 所示。

2.2.1 五面 LED-CAVE 系统

五面 LED-CAVE 沉浸式虚拟仿真系统由五面 LED 显示屏和钢结构框架构成一个半封闭式箱体结构^[6],钢结构框架包括五面屏幕的安装框架以及用于撑起五面 LED 显示屏的支脚,实现五面 LED-CAVE 显示屏的无缝拼接同步显示^[7],提高了用户的沉浸式虚拟现实体验感。

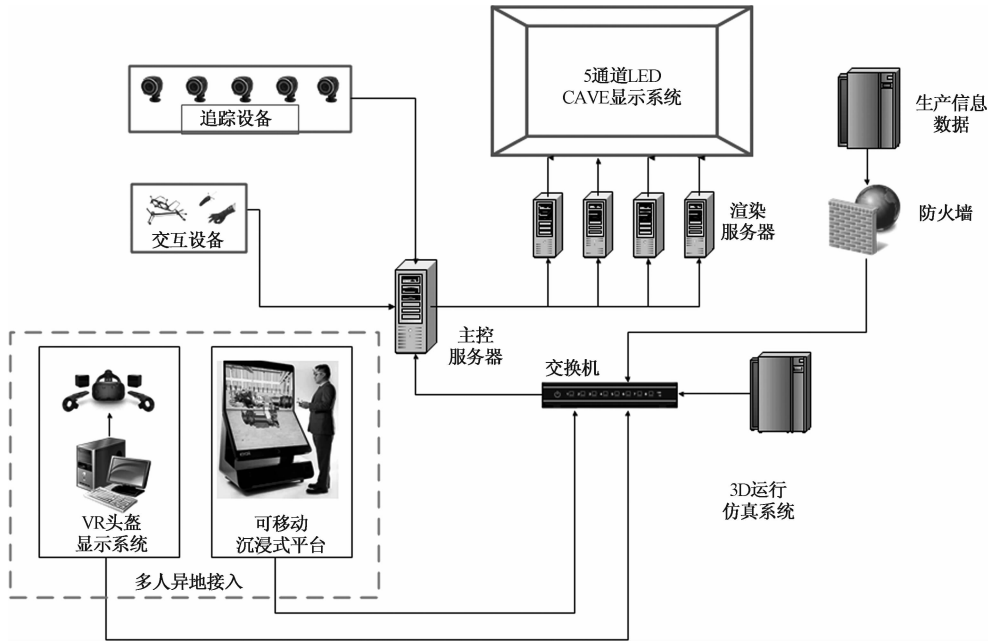


图 2 系统组成

2.2.2 光学跟踪定位系统

光学跟踪定位系统^[8]包括光学跟踪计算机和光学跟踪相机;光学跟踪相机包括 4 个主摄像头、2 个辅助摄像头;主摄像头/辅助摄像头内部配置有低噪声 CCD 芯片以及对拍摄数据进行优化的 FPGA 芯片。4 个主摄像头分别设置在五面 LED 显示屏幕左幕的前上方、前下方以及右幕的前上方、前下方 4 个位置;2 个辅助摄像头分别设置在顶幕的后

方两侧;主摄像头、辅助摄像头均为红外发射摄像头。光学发射摄像头的有效捕捉距离为 4.5 m 以内,最佳捕捉距离为 3.5~4.5 m,经过光学跟踪光路图模拟试验证明,这种安装结构既能保证画面的完整性,又能保证操作者最大限度的有效活动范围。

2.2.3 信号同步显示系统

信号同步显示系统包括多台图形工作站、无线信号发射器和无线信号接收器;多台图形工作站均

配置有显卡和同步卡;无线信号接收器安装在 3D 眼镜内部,用于接收无线信号发射器发出的控制指令;多台图形工作站通过同步卡实现同步控制。3D 眼镜内部设有无线信号接收器和控制器;3D 眼镜的 2 个镜片内部均设有液晶层;无线信号接收器用于接收无线信号发射器发送的控制信号,控制器用于根据控制信号控制 3D 眼镜的两个镜片切换显示。3D 信号同步显示系统根据 3D 眼镜的空间位姿信息生成左右眼两组画面图像,并将该两组画面在五面 LED 显示屏幕上交替显示;3D 信号同步显示系统通过无线的通信方式向 3D 眼镜发送控制指令,控制 3D 眼镜的左右两个镜片切换显示,该两个镜片的切换频率与两组画面的交替频率保持同步。

3 平台功能实现

3.1 沉浸式仿真平台构建方法

本系统提供了一种基于虚拟现实技术的水电站仿真培训系统的构建方法。具体包括以下步骤:构建水电站环境和设备的三维模型;对三维模型的操作流程进行设计;对三维模型的碰撞体进行设计;对三维模型的拆装过程进行设计;对三维模型的交互进行设计,实现培训对象与虚拟环境之间的互动。

1)构建水电站环境和设备的三维模型。采用三维激光扫描仪和图纸获取厂区厂房、建构物、设备的三维数据^[9],采用无人机航拍测量技术获取水电站地形地貌的特征数据^[10];根据获取的三维数据和水电站地形地貌的特征数据,采用 3ds Max 建模工具建立厂区厂房结构、建构物、设备的三维模型以及水电站的外观模型;将建立好的模型合并为三维场景,并对合并后的三维场景进行编辑和设置;对三维场景和模型进行优化。

2)对三维模型(以导叶接力器为例)的操作流程进行设计。导叶接力器拆卸流程分为接力器拆解与接力器解体两大环节,其中接力器拆解分为 20 步,接力器解体分为 15 步,每一步都对应了相应的零件模型,对照模型操作规程逐一分析模型的拆卸逻辑,设计合理的模型场景,可优化对设备模型拆卸的逻辑编程代码,提高用户操作交互设备的流畅性。

3)在虚拟场景中,用户与目标模型的互动主要靠虚拟引擎中的“碰撞体”,利用用户手中的操作手柄射线与碰撞体发生碰撞,系统即可获取相应的碰撞事件响应。三维模型的碰撞体包括盒子碰撞体和网格碰撞体^[11];盒子碰撞体是以性能为主的 AABB 盒子碰撞设计方式,即轴对齐包围盒,利用长方体对三维模型进行包围,立方体的每一条边都

平行于一个坐标平面且与坐标系的轴垂直;网格碰撞体是以模型本身生成复杂网格碰撞体设计方式,在模型的本体轮廓上形成基于网格的碰撞体,这种方式会消耗更多的显卡资源,但是在用户操作时会精准地捕捉到不规则物体或者细小零件。

4)虚拟现实拆装技术实质上是一个人机系统运动的过程,主要是对仿真场景中的操作动作以及人与虚拟模型之间的交互作用的仿真;本实例基于运动捕获数据的仿真技术和关键帧的仿真动画技术相结合,以此模拟虚拟模型的拆装运动;三维模型的拆装过程设计方法为:定义每项拆装任务的运动对象,然后对该运动对象的运动信息进行描述,建立该运动对象的拆装运动模型。

3.2 平台实现功能

1)参数化精确建模技术在水电厂的应用。参数化建模设计是通过修改已定义好的零件参数,或调整图形的某一部分或某几部分的尺寸,自动完成对图形中相关部分改动,从而实现对图形的驱动。参数化设计广泛应用于机械产品的建模中,即建立图形约束和几何关系与尺寸关系的对应关系,由尺寸参数值的变化直接控制实体模型的变化。参数化设计极大地改善了图形的修改手段,提高了设计的柔性,在概念设计、动态设计、实体造型、装配、公差分析与综合、优化设计等领域发挥着越来越大的作用。

2)沉浸式虚拟仿真平台精确物理仿真功能。沉浸式虚拟检修仿真平台不仅要求能够提供逼真的沉浸式视觉环境和准确的交互操作体验,还应能实现模型的精确物理仿真,即平台支持模型物理属性的定义、编辑和取消,以及模型刚体运动、场景重力、粒子运动、环境阻尼以及复杂机构力学联动的物理仿真,使模型具有更真实的物理属性。

3)沉浸式虚拟交互装配技术。沉浸式虚拟交互装配技术,包括实时三维计算机图形技术,立体显示技术,对观察者头、眼和手的跟踪技术,以及立体声、网络传输、语音输入输出技术等,可为培训者提供一个高度仿真的虚拟环境。在具有沉浸感与交互性的虚拟环境中,通过人机交互设备和场景里所有物件进行交互,体验实时的物理反馈,进行模型自由剖切透视^[12]、设备模拟拆装等交互操作。

4 工程实例

南方电网调峰调频发电有限公司水电厂沉浸式虚拟检修仿真平台搭建了沉浸式虚拟检修仿真平台,将水电厂厂房场景模型、设备精细模型载入并实现水电厂场景漫游、设备透视漫游、属性量测、

标记、模型剖切、材质更换、应急处置演练、设备虚拟拆装检修、多人异地协同等功能,为现场检修提供辅助决策,为电力提供全新的深度体验、高度仿真的学习体验^[13]。工程实例运行如图 3 所示。



图 3 工程实例运行

5 结论

为了提高学员在工作中遇到各种情况的应变能力以及承受能力,同时在保证人员安全的情况下,本研究提出借助虚拟现实技术设计开发相关的检修仿真系统,让员工在虚拟的环境下进行培训,体验创新的培训形式。

基于五面 LED-CAVE 虚拟现实仿真技术的水电站检修仿真系统实现了参数化精确建模技术在水电厂的应用、沉浸式虚拟仿真平台精确物理仿真功能、沉浸式虚拟交互装配技术、虚拟场景多人异地协同交互技术、沉浸式检修平台与运行仿真平台跨平台交互功能,使得水电站在培训过程实践能力得到大幅度提升。

Research and Application of Hydropower Station Maintenance Simulation System
Based on Five-sided LED-CAVE Virtual Reality Simulation Technology

LÜ Yisong¹, KONG Jihong¹, SHI Tao², QIU Enhua¹, WU Chao², WANG Yuxuan², LUO Xi¹

(1. CSG Power Generation Co., Ltd., Guangzhou 510630, China;
2. Zhongye Zhicheng (Wuhan) Engineering Technology Co., Ltd., Wuhan 430073, China)

Abstract: A hydropower station maintenance simulation system based on virtual reality technology is studied. The three-dimensional model of the hydropower station is integrated with the five-sided LED-CAVE display system through the virtual reality platform, and the interactive logic function program is written through the virtual reality platform to give the static hydropower station three-dimensional model interactive capabilities. By constructing a three-dimensional model of the factory premises and surrounding environment, and an accurate three-dimensional model of the plant's internal equipment units, the virtual reality platform is used to integrate the model data of the data layer, the training evaluation business data and the simulation system of the platform layer to realize the scene roaming function and equipment cognitive function, perspective display function, section display function, equipment disassembly function, equipment installation function, information presentation function, and virtual-real interaction function.

Keywords: five-sided LED-CAVE; virtual reality; simulation technology; maintenance simulation

参考文献

[1] 张益玮. 虚拟现实技术的发展与应用[J]. 通讯世界, 2018 (9): 247-248.

[2] 张卫君, 邱洋, 薛飞. 沉浸式虚拟环境在水电仿真培训系统中的应用研究[R]. 北京: 中国水力发电工程学会, 2017.

[3] 黄效恩, 张文栋. 水电运行培训仿真系统的结构和关键技术实现[J]. 湖南水利水电, 2017(1): 84-86, 94.

[4] 万晟, 刘学山, 徐斌, 等. 基于三维仿真技术的智慧水电厂应用研究[J]. 水电站机电技术, 2018, 41(4): 6-9.

[5] 林益江. 基于虚拟现实的水电厂仿真系统的研究及应用: 以浙江同济科技职业学院为例[J]. 现代职业教育, 2019 (23): 216-218.

[6] 李定林, 丘恩华, 赵溢丰, 等. 一种基于小间距 LED 的五面 CAVE 显示系统集成方法: 中国: CN110430420A [P]. 2019.

[7] 丘恩华, 孔吉宏, 周刚, 等. 一种用于调节 LED 显示屏平整度的结构装置[J]. 机电工程技术, 2019, 48(12): 140-142.

[8] 卢颖洁. 基于激光跟踪定位的多视觉动画特征点匹配方法研究[J]. 激光杂志, 2020, 41(10): 117-120.

[9] 郭柏希. 基于三维激光扫描技术的工业厂房三维建模与应用研究[D]. 长春: 吉林建筑大学, 2016.

[10] 林高印. 基于无人机航拍的三维建模研究[J]. 农村经济与科技, 2020, 31(1): 365-366.

[11] 于文斐. 基于虚拟现实技术的碰撞检测算法综述[J]. 民航学报, 2019, 3(4): 85-87.

[12] KONG J H, WU C, QIU E H, et al. Automatically trimming profile based on triangular mesh model[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021(1): 253-261.

[13] 孙廷昌, 肖楚伟, 李亦凡, 等. 抽水蓄能电站三维运维仿真培训系统应用研究[J]. 水电站机电技术, 2020, 43(4): 14-15.