

Construction and practice of immersive stage design system based on XR and real-time rendering technology

Tong Zhou

Jiangsu Broadcasting Corporation, Nanjing, Jiangsu, 210008, China

Abstract

This paper aims to explore the construction and practice of immersive stage design system based on XR and real-time rendering technology. In terms of research methods, this paper first summarizes XR and real-time rendering technology, and then studies the practical path from four aspects: system architecture innovation, key technology breakthrough, multi-domain collaboration and continuous innovation optimization. The results show that the integration of XR and real-time rendering technology can innovate the architecture of immersive stage design system. Key technical breakthroughs can ensure the high-quality presentation of the system. Multi-domain collaboration helps the practical application of the system, and continuous innovation and optimization promote the development and upgrading of the system. The conclusion shows that the construction of the system can improve the quality of the studio program and the audience experience, and provide a new development direction and practical reference for the industry.

Keywords

Green energy; Equipment; Project management; Strategy

基于 XR 与实时渲染技术的总台演播室沉浸式舞美系统构建与实践

周通

江苏省广播电视总台, 中国·江苏南京 210008

摘要

本文旨在探讨基于XR与实时渲染技术的总台演播室沉浸式舞美系统的构建与实践。研究方法上,先对XR与实时渲染技术进行概述,进而从系统架构创新、关键技术突破、多领域协同以及持续创新优化四个方面展开实践路径研究。结果表明,XR与实时渲染技术融合可创新沉浸式舞美系统架构,关键技术突破能保障系统高质量呈现,多领域协同助力系统实践应用,持续创新优化推动系统发展升级。结论显示,构建该系统可提升总台演播室节目质量与观众体验,为行业提供新的发展方向与实践参考。

关键词

绿色能源;设备;工程管理;策略

1 引言

在科技日新月异的年代,XR与实时渲染技术正在改变传统的演播室舞美。XR打破现实与虚拟的界限,而实时渲染可以让画面更加生动、逼真。总台的演播室是内容生产和播出的第一线,对于舞美的要求也更高。搭建一个基于XR以及实时渲染的沉浸式的舞美可以让节目更具观赏性,也可以给观众不一样的感受。

2 XR与实时渲染技术概述

XR是一种包括虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、混合现实(MR)在内的综合性技术,利用计算机视觉、感

知等技术把虚拟世界和真实世界结合在一起,给用户提供一种沉浸式的交互方式。而其基础则是实时渲染技术的支持——这种技术可以在用户参与虚拟世界交互的过程中,以毫秒的速度产生并且刷新动态的3D图像,使得视觉平滑以及交互快速。比如,在2026年央视春晚节目《梦底》,使用了XR实时渲染技术进行虚拟舞台及“数字刘浩存”的时间和空间调度,做到4/8K清晰度下人物头发丝、衣服褶皱等细节表现的同时,也完成光效和环境光的效果一致,展示了实时渲染对于大量任务的强大并发算力^[1]。

实时渲染技术利用GPU并行计算能力和各种优化方法进行渲染,在渲染流程中(顶点着色、光栅化、片元着色等步骤)把3D模型转换为屏幕上的像素,在此过程中使用细节层次(LOD)、延迟渲染等方法减少工作量。它的发展可以回溯到上世纪80年代对光线追踪的研究,到2020年代

【作者简介】周通(1987—),男,中国甘肃酒泉人,本科,助理工程师,从事舞美工程与技术保障研究。

实时光线追踪的到来让画面更加逼真。目前，XR 实时渲染正受到硬件限制、渲染延迟等问题困扰，而利用云技术（比如 3DCAT 实时云渲染平台）把计算放到云端，配合 5G 低延迟能够实现轻量级终端和跨设备协作，可以低成本、高质量地为工业设计、医疗培训、文旅直播等行业用户提供 XR 服务，让 XR 走向产业化。

3 基于 XR 及实时渲染技术的总台演播室沉浸式舞美系统的搭建以及实现方式

3.1 XR 与实时渲染技术融合下的沉浸式舞美系统架构创新

在当下数字化时代背景下，舞台美术正在发生着一次由“物理搭建”到“数字构建”的巨大变化。而 XR 技术以及实时渲染技术的发展应用，让舞台美术不再受时间和空间限制，同时也重新定义了沉浸式舞美系统的基础架构，给电影电视、大型活动、虚拟演出等都带来了一场视觉上的革新。

传统的舞美系统一直受到实体置景的限制。巨大的空间需求、复杂场景的转换、高昂的成本以及高昂的存储费用经常是阻碍创意实现的因素。但是基于 XR 和实时渲染的新一代的沉浸式的舞美系统，它主要以超高分辨率、超高的刷新率的 LED 屏为媒介，在虚拟的空间中搭建了一个可以无限延展的 3D 显示的世界。这个革命性的变化首先就是把“后期”变成了“实时”。由多个服务器组成的多通道渲染集群以及高效率的视频拼接设备相互配合，可以将用户使用三维建模工具制作好的音视频、图片或者是复杂的 3D 模型，在极短的时间内完成渲染以及拼接，最终得到一个符合摄像机视角的画面，实现了“所见即所得”。

在硬件布置以及显示结构方面，新的体系放弃了传统平铺式背景的想法，而是使用 U 型、弧形甚至是穹顶式的屏幕来布置。这样做的好处就是可以大大的增加摄像机拍摄范围，避免了穿帮的问题，也给灯光师留下了很大的发挥空间，让虚拟灯光和实物人物的灯光可以很好的融合在一起。另外对于电影行业中常出现的摩尔纹的问题，新一代 LED 显示屏利用缩小像素之间距离及改进驱动电路的方法结合相机同步技术解决了这一难题，保证了画质清晰且有电影感。

系统的最重要之处就是它的虚拟植入以及三维渲染的能力。虚拟植入系统是一个重要的内容输出节点，可以实时地添加前景，比如飘动的文字图片，粒子效果，全息动画等等。而这些虚拟的东西并不是普通的背景贴图，它们是有实际的体积以及物理性质的三维物体，可以与其他真实的演员进行前后遮挡、光反射的效果，增加了整个画面的层次感以及真实感。同时，三维渲染系统加入了基于物理的渲染技术（PBR），配合高度准确的摄像机追踪信号，计算出光线对虚拟材质的反射以及折射过程，在虚拟场景中模拟出与演播室灯光一致的效果，做到真假难辨。

而且，虚实同步拍摄系统的使用，解决了动态拍摄时的稳定问题，在广播级虚实传感云台以及智能化虚实同步轨道的帮助下，可以准确记录下摄像机的推、拉、摇、移、俯、仰六个自由度的变化情况并将这些变化传达至渲染端，也就是说不管摄像机怎么动，其对应的虚拟背景的视角变化都会与实际镜头完全一致，杜绝了以往绿幕拍摄时经常出现的“漂浮感”和视角偏差等问题，给观众以身临其境的感受。

3.2 关键技术突破保障沉浸式舞美系统的高质量呈现

实时动作捕捉及空间定位是实现沉浸式舞美系统虚实交互重要前提条件。而在演播室内，演员身上或者某些重要道具上安放光学或惯性动作捕捉标记点，或者使用高性能的摄像机阵列对演员进行无标记点识别，都可以实时获取演员在舞台上准确的位置、姿态以及运动信息，然后把把这些信息传给渲染引擎，引擎利用摄像机的角度和焦距等参数，推断出应该出现在这个角度下的虚拟场景画面，并且几乎实时地把它覆盖到摄像机拍到真实舞台画面上面。利用先进的摄像机反求技术以及强大的计算机图形学技术，使虚拟物体和真人演员、道具的位置关系、透视关系、光照关系等都做到非常精准，达到以假乱真的效果。

虚拟场景生成以及渲染引擎是实现这种逼真视觉体验的重要手段。高性能的工作站搭载专业的实时渲染引擎，在已有的数字场景模型以及客户需求的基础上，可以创造出逼真的虚拟世界，如古代诗词所描绘的山清水秀的楼宇亭台或者是具有极强科技感的赛博空间等，有多种不同的类型和主题。而渲染引擎也在不断提高自己的技术能力，使得渲染速度更快、画质更好，能够达到更高清晰度甚至是更为复杂的光照效果，比如可以模拟丁达尔效应、镜子般的反射、移动的阴影以及光线追踪等，让虚拟世界的画面更加的真实，给人们带来一种身临其境的感觉。

虚实画面的准确重叠以及同步是基于沉浸式舞美的关键技术问题，利用追踪系统得到演员的位置信息传送到渲染引擎里面，引擎利用摄像机的信息来渲染一个虚拟的场景画面，紧接着就要把这个虚拟场景的画面与摄像机拍摄下来的现实世界中的画面进行重叠及同步，在这个过程中就需要系统的计算速度非常快并且延迟很小，保证虚拟物体与现实世界中的一切都是一致的。另外，还需要用到一种先进的图像合成的方法，把虚拟的画面和现实的画面进行颜色上的调整以及融合，让它们的颜色一样并且平滑地结合，不能够有很明显的边界感，做到虚实的画面融为一体。

3.3 多领域协同助力沉浸式舞美系统的实践应用

在总台演播室打造沉浸式舞美工程里，技术先进性当然是基础，但是不同领域融合才是把这一体系变为强大艺术生产力。沉浸式舞美不再是简单的硬件堆积，而是包含艺术创作、技术实现、软硬件结合以及工作流程等方面内容综合体。只有消除各专业间障碍，进行全方位合作，才能让这个体系发挥其最大作用。

传统制作流程是技术落后创意或者创意受限于技术条件，在沉浸式舞美中，两者从一开始就紧密结合在一起。技术人员不是消极的执行者，而是一个积极的参与者。他们理解节目的主题思想以及情绪氛围，用 XR 技术和实现实时渲染把无形的想法变成有形的画面。比如用粒子效果表现一种古老的感觉，或者用动态灯光来营造一种未来的科技风。而另一方面，艺术家对于技术的应用也有着审美的把控，他们决定虚拟的东西的颜色、构图还有动作，保证技术为内容服务而不是为了炫技而忽视了艺术本身。这种紧密互动，实现了技术理性与艺术感性的高度统一^[2]。

硬件供应商与软件开发者的合作是整个系统的基石。沉浸式舞美对实时性有很高的要求，一旦出现延迟或者卡顿都会造成拍摄事故的发生。硬件供应商提供的高性能 LED 显示屏、低延时渲染服务器、高精度的动作捕捉设备给系统提供强大的计算能力和显示支持；而软件开发商负责优化渲染引擎、提高追踪算法精度、开发兼容不同合成软件的工具。双方紧密配合，在调试过程中不断磨合，根据总台演播厅的特点对接口进行量身定制，解决了摩尔纹消除、虚实光影结合问题。而这种全方位的合作，也为项目的顺利进行并最终上线打下良好的基础，并为之后的进一步优化以及新功能的增加提供了有利条件^[3]。

总台内部各部门紧密配合，形成一个整体，演播室管理部门是“守护者”，负责日常维护以及环境监控，保证物理空间和数字空间相统一；节目制作部门是“使用者”，在编导、导演和摄像师之间及时沟通，根据现场情况变动机位、调度等事宜，充分利用沉浸式空间带来的便利；后期制作部门是“升华者”，对已经拍好的虚实结合画面进行剪辑、调色等工作，进一步统一视觉效果。各个部门之间相互协作、环环相扣，避免了以往生产环节中出现的断层，大大提高工作效率^[4]。

3.4 持续创新与优化推动沉浸式舞美系统的发展升级

随着科技的进步，XR 以及实时渲染也在不断发展和完善。为了使沉浸式舞美系统具有领先性和竞争力，就需要不断融入新技术新思想对其进行改善。首先，要了解硬件发展趋势并及时更新设备，如随着显示技术的进步而采用更高分辨率和更高刷新率的 LED 屏，提高画质和流畅度；使用更

加先进的动作捕捉装置以提高动作捕捉准确性和实时性；使用更强大的渲染计算机来增强系统处理能力以及渲染速度等。其次，要重视软件开发尤其是软件研发。不断的改进渲染引擎算法，提高渲染质量与速度，可以支持更多复杂光线和物理；制作更加强化的追踪系统以及合成软件，能够使虚实画面自动对齐并结合，方便使用并且节省费用；加入 AI 技术，可以让虚拟场景自动产生并且优化，随着节目的发展以及演员的动作变化及时改变虚拟的部分以达到更好的沉浸感和智能化^[5]。

同时积极参加行业内交流、学习、借鉴国内外先进经验、技术等；参与行业标准编写工作，促进沉浸式舞美技术标准规范化、规范化；加强与高校、科研院所合作，进行产学研用相结合的研发，培养专业人才，为沉浸式舞美系统创新发展奠定坚实基础。不断改进和完善，提高沉浸式舞美系统质量和水平，给总台演播室观众带来更多、更优秀视觉感受，促进我国广播影视事业蓬勃发展。

4 结语

基于 XR 与实时渲染技术的总台演播室沉浸式舞美系统建设及应用，是技术与艺术完美结合过程。经过设计构思、技术创新、跨界融合、不断迭代优化，最终落地实施。这对总台节目的创作注入新鲜血液，提升节目品质和用户体验，对整个行业起到示范作用。以后随着技术不断发展进步，这个系统也会不断完善，给总台演播室带来无限可能性，促进行业进入新时代。

参考文献

- [1] 郑博. XR 虚拟技术扩展舞美设计“新视界”[J]. 艺术教育, 2025, (17): 42-45.
- [2] 杨佳颖, 李东娜. 从舞美设计、多维叙事及文旅融合新路径看沉浸式戏剧《戏韵关东》[J]. 戏剧文学, 2025, (08): 26-30.
- [3] 马渊清. 沉浸式视频技术在广播电视领域的应用研究[J]. 电视技术, 2025, 49 (07): 219-221.
- [4] 左宏达. 2025年中央广播电视总台春节联欢晚会沉浸式舞美包装视觉呈现解构[J]. 现代电视技术, 2025, (05): 41-44.
- [5] 刘俊杰, 张啸. 民族服饰与沉浸式舞蹈剧场创意展演的互融机制探究[J]. 喜剧世界(下半月), 2025, (04): 136-138.