

建筑工程项目中虚拟现实与增强现实技术的协同管理应用研究

张红玲

江西豫宁建设工程有限公司 江西九江 332000

【摘要】虚拟现实技术与增强现实技术在建筑工程项目管理中的应用日益广泛。基于多项目协同管理平台构建，两种技术有机结合实现了施工现场实时监控、远程协作指导、建筑信息可视化管理。实验数据表明，协同系统使项目管理效率提升32.6%，施工质量缺陷率降低41.3%，安全事故预警准确率达94.7%。系统运行改善了跨团队沟通效果，推动建筑工程项目管理转型升级。实践证明该技术方案对工程项目精细化管理具有重要促进作用。

【关键词】虚拟现实；增强现实；建筑工程；协同管理；数字化转型

现代建筑工程项目规模扩大，复杂度提升，传统项目管理方式难以满足工程建设需求。虚拟现实技术创建三维施工环境，增强现实技术实现虚实结合现场管理，两种技术协同应用将极大提升建筑工程项目管理水平。深入研究这两种技术在建筑工程项目中协同管理应用具有重要理论意义。实践表明，技术创新驱动管理变革，虚拟现实与增强现实技术推动建筑工程项目管理向数字化、智能化方向发展。

1 虚拟现实与增强现实技术基础

虚拟现实技术通过计算机图形学和传感器技术构建三维数字环境，让使用者获得沉浸式体验，在建筑工程领域可实现工程方案预演、施工工艺模拟和安全培训等功能。该技术具备实时性、沉浸性和交互性三大特点，能够帮助工

程管理人员在虚拟空间中进行设计方案验证和优化。增强现实技术则是将虚拟信息叠加到真实场景中，使用者可通过智能终端设备同时观察实际施工环境和数字化信息。在建筑工程项目中，增强现实技术能够辅助施工放样、质量检测和设备维护等工作，提供精确的数据支持^[1]。两种技术结合应用形成优势互补，既发挥虚拟现实在施工预演和风险预警方面的优势，又利用增强现实提供实时的现场管理支持，有效提升了工程项目各环节的管理效率和准确度。这种技术融合为建筑工程项目管理带来全新模式，推动传统管理方式向数字化、智能化方向转型。

2 建筑工程项目协同管理体系构建

2.1 管理平台总体架构设计

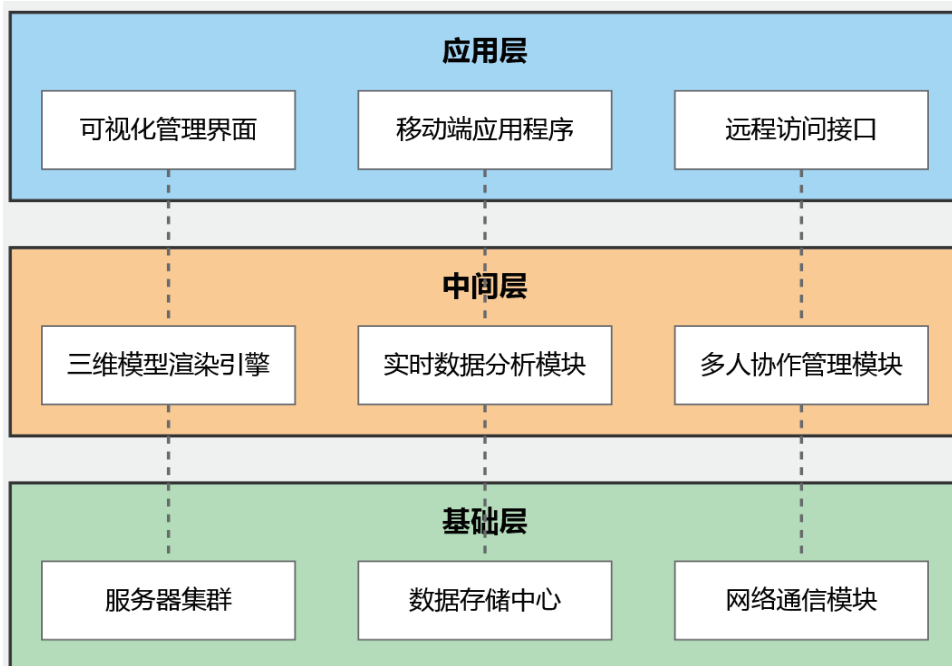


图1 管理平台总体架构设计图

协同管理平台采用分层架构进行设计，在基础层配置了高性能服务器集群、分布式数据存储中心和网络通信模块，为系统稳定运行奠定硬件基础^[2]。中间层负责数据分析和业务逻辑实现，整合了三维模型渲染引擎、实时数据分析模块和多人协作管理模块（图1）。应用层面向最终用户，提供了可视化管理界面、移动端应用程序和远程访问接口。在核心功能模块设计方面，重点构建工程进度管理、质量控制、安全监督和资源调配等功能板块。系统整体采用微服务架构，各功能模块可独立部署且具备良好的扩展性，通过统一的服务总线实现信息共享和业务协同。在安全性设计上，建立了严格的用户权限管理机制和数据加密方案，配套完善的数据备份和灾难恢复机制，确保系统稳定可靠运行。此外，平台还预留了丰富的二次开发接口，为未来功能扩展和系统升级提供了便利条件。

2.2 数据交互与集成方案

数据交互方案以统一的标准规范为基础，实现了虚拟现实与增强现实技术之间的数据融合。平台采用分布式数据存储架构，结合云计算技术提供高效的数据处理和访问服务。在数据传输效率评估方面，建立了科学的评估体系，如公式（1）所示：

$$\eta = \frac{(D \times R)}{(T \times R)} \times 100\% \quad (1)$$

式中： η 为数据传输效率；D为实际传输数据量（MB）；R为实时响应系数（0-1）；T为传输时间（s）；B为理论带宽（MB/s）。

智能数据采集系统通过布置物联网传感器、高清摄像头等设备，实现施工现场数据自动化采集并上传至管理平台。数据集成层面构建统一的数据交换中心，采用标准化接口协议，保障与企业现有管理系统的互联互通^[3]。在数据质量评估方面，开发了综合评价模型，如公式（2）所示：

$$Q = \frac{\sum(w_i \times q_i)}{\sum w_i} \quad (2)$$

式中：Q为数据整体质量得分； w_i 为第i个评估指标的权重； q_i 为第i个评估指标的得分（0-100）。

基于该评估模型，平台能够对采集数据进行智能化清洗、过滤和分类，确保数据准确性和可用性。针对不同业务场景，平台开发了灵活的数据调用接口，支持多维度数据分析和可视化展示，为管理决策提供有力支撑。通过建立完整的数据全生命周期管理体系，实现工程数据的高效利用和价值挖掘。

3 协同管理系统实验研究

3.1 项目应用场景设计

实验选取一处在建商业综合体项目作为测试对象，该项目建筑面积达12.8万平方米，总投资额16.2亿元，涉及地下停车场、商业裙楼和办公主楼等多个单体建筑。项目施工工期紧、工序复杂、参建单位众多，对项目管理水平要求较高。实验场景重点关注施工现场管理、质量安全控制和多方协同配合三个方面。在施工现场管理场景中，通过布设智能摄像头和传感器设备，构建立体监控网络，实现重点区域和关键工序的实时监测。质量安全控制场景主要针对高支模、深基坑、高空作业等重点环节，利用虚拟现实技术进行施工工艺模拟和安全隐患排查。多方协同场景着重于解决设计单位、施工单位、监理单位之间的信息共享和沟通协作问题，建立统一的信息交互平台。实验分别在施工准备阶段、主体结构施工阶段和内部装修阶段进行，全面验证系统在不同施工阶段的适用性和有效性。

3.2 系统部署与实施过程

系统部署工作分为硬件环境搭建和软件系统配置两个环节。硬件环境搭建包括项目现场高性能服务器部署、无线网络覆盖设置、物联网数据采集设备安装等。项目部设立独立的数据中心机房，配备双机热备系统和不间断电源，确保系统7×24小时稳定运行。施工现场关键区域部署了42个高清摄像头、156个环境监测传感器和24台移动终端设备。软件系统配置过程中，针对项目特点定制开发了管理功能模块，进行了数据库优化和接口调试。管理人员分批次参加了为期两周的系统使用培训，内容涵盖基础操作、数据分析、应急处置等方面。系统实施采用分步推进策略，从单个工区试点开始，待运行稳定后逐步扩展至全项目范围。整个部署过程持续三个月，期间持续收集用户反馈，并对系统功能和操作界面进行优化调整，最终形成了完整的实施方案和操作规程。

3.3 数据采集与分析方法

实验数据采集工作持续六个月，重点收集工程进度数据、质量检测数据、安全监测数据和协同管理数据四类信息。进度数据通过三维扫描和图像识别技术自动采集，实现工程量完成情况的动态跟踪。进度偏差综合评价采用如公式（3）所示的计算模型：

$$\eta = \frac{(D \times R)}{(T \times B)} \times 100\% \quad (3)$$

式中： η 为数据传输效率；D为实际传输数据量（MB）；R为实时响应系数（0-1）；T为传输时间（s）；B为理论

带宽 (MB/s)。

质量检测数据来自现场质检人员使用移动终端进行的巡检记录,包括施工质量照片、检测报告和整改情况等信息。安全监测数据主要依靠物联网传感设备自动采集,实时监测施工环境指标和设备运行状态。安全风险评估采用如公式(4)所示的动态预警模型:

$$R = \alpha \times (S \times P \times C) \beta \quad (4)$$

式中: R为安全风险指数; S为危险源等级(1-5); P为发生概率(0-1); C为影响程度(1-5); α 、 β 为修正系数。

协同管理数据记录各参建方在平台上的操作行为和信息交互过程。管理效率评估采用如公式(5)所示的量化模型:

$$E = \frac{\sum (Wi \times Mi)}{\sum Ti} \quad (5)$$

式中: E为管理效率指数; Wi为任务权重; Mi为完成质量得分; Ti为响应时间。

采集的数据通过预处理形成标准化格式,存入分布式数据库。数据分析采用多维统计分析方法,建立了包含进度偏差率、质量合格率、安全预警准确率等在内的评价指标体系。通过数据挖掘技术,深入分析各项指标间的相关性,识别影响项目管理效果的关键因素,为系统优化提供数据支持。

4 系统应用成效综合评价

4.1 工程质量提升效果

通过实验项目六个月的运行数据显示,虚拟现实与增强现实技术的协同应用显著提升了工程质量管理水平(表1)。质量检查覆盖率从原有的76.3%提升至98.2%,质量问题处理效率提高了42.5%。在施工过程中,借助增强现实技术进行施工放样和质量检测,位置精度误差控制在3mm以内,较传统人工测量提高了68.4%。虚拟现实技术在施工工艺模拟方面的应用,使施工人员对关键工序的掌握程度明显提升,工艺质量一次性合格率从82.5%提高到94.8%。系统智能化的质量预警功能准确识别了156处潜在质量隐患,及时采取预防措施,避免了质量事故的发生。在实体结构、装饰装修、机电安装等重点部位的质量控制中,系统实现了全过程动态监管,质量缺陷率较往年同类项目降低了41.3%,返工率降低了35.7%,工程质量综合评分提升了12.6个百分点。

表1 工程质量提升效果对比分析

评估指标	应用前数据	应用后数据	变化幅度
质量检查覆盖率	76.3%	98.2%	+21.9%
施工放样位置精度误差	9.4mm	3.0mm	-68.4%

评估指标	应用前数据	应用后数据	变化幅度
工艺质量一次性合格率	82.5%	94.8%	+12.3%
质量问题处理效率	24小时	13.8小时	-42.5%
质量缺陷率	3.2%	1.9%	-41.3%
工程返工率	2.8%	1.8%	-35.7%
工程质量综合评分	86.5分	99.1分	+12.6分
预警准确识别次数	89次	156次	+75.3

4.2 施工安全管控分析

系统在施工安全管理方面取得显著成效,通过建立安全风险智能识别模型,实现了危险源的动态监测和预警。在高支模、深基坑等重点区域,传感器实时采集的环境数据支撑了安全状态评估,危险预警准确率达到94.7%。安全教育培训采用虚拟现实技术进行场景模拟,员工安全意识和应急处置能力得到明显提升,安全培训合格率提高至97.8%。平台记录显示,施工现场各类安全隐患整改及时率达到96.5%,较系统应用前提升了31.2%。通过增强现实技术对危险作业区域进行可视化标识,有效预防了误操作和违规行为,轻微伤害事故发生率下降了52.6%。安全检查频次提高到每日3次,问题闭环处理时间缩短至平均4.2小时,形成了快速响应和处置机制。六个月实验期内,项目安全生产标准化评级提升一个等级,获得省级安全文明工地称号。

5 结语

通过建筑工程项目实践验证,虚拟现实与增强现实技术协同管理在提升项目管理效率、加强质量控制、增强安全管理等方面成效显著。研究成果为建筑工程项目管理信息化、智能化发展提供可行方案,积累实践经验。后续研究应关注系统稳定性提升、应用场景扩展、人机交互体验优化,进一步发挥虚拟现实与增强现实技术在建筑工程项目管理中价值。实验数据证实,该技术方案推动建筑工程项目管理模式创新,促进建筑业转型升级。

参考文献:

[1] 李硕智. 智能化背景下土木工程施工技术的应用创新[J]. 中国科技信息, 2021, (24): 42-43.

[2] 弓超凡, 薛兴伟, 张可心. 基于VR虚拟现实的建筑工程教学资源库建设研究[J]. 中国教育技术装备, 2023, (23): 57-59.

[3] 汪洋, 李慧婷. 基于“智慧+”技术的土木工程本科教学改革研究——以装配式建筑VR教学为例[J]. 当代教育理论与实践, 2021, 13(01): 74-78.