

Research on the application of spatial intelligence in the whole life cycle of construction engineering

Shasha Chen¹ Junhao Luo^{2*}

1. Yunnan College of Economics, Trade and Foreign Affairs, Kunming, Yunnan, 650000, China

2. Yunnan Yihui Architectural Design Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

With the rapid development of science and technology, the application of spatial intelligence technology in the field of construction engineering is becoming more and more extensive. This paper discusses in depth the application of spatial intelligence in the whole life cycle of building engineering, i.e. from planning and design, construction to operation and maintenance stages. It analyzes how it can improve the efficiency, quality and sustainability of construction projects through advanced technological means, such as Building Information Modeling (BIM), Geographic Information System (GIS), Internet of Things (IoT), etc., and provides theoretical and practical references for the intelligent development of the construction industry.

Keywords

spatial intelligence; construction; full life cycle; BIM; GIS; IoT

空间智能在建筑工程全生命周期的应用研究

陈沙沙¹ 罗峻豪^{2*}

1. 云南经贸外事职业学院, 中国·云南 昆明 650000

2. 云南奕辉建筑设计有限公司, 中国·云南 昆明 650000

摘要

随着科技的飞速发展, 空间智能技术在建筑工程领域的应用日益广泛。本文深入探讨空间智能在建筑工程全生命周期, 即从规划设计、施工建设到运营维护各阶段的应用。分析其如何通过先进的技术手段, 如建筑信息模型 (BIM)、地理信息系统 (GIS)、物联网 (IoT) 等, 提升建筑工程的效率、质量与可持续性, 为建筑行业的智能化发展提供理论与实践参考。

关键词

空间智能; 建筑工程; 全生命周期; BIM; GIS; IoT

1 引言

建筑工程行业正处于数字化转型的关键时期, 空间智能技术的兴起为其带来了新的发展机遇。空间智能涵盖了多种先进技术, 能够对建筑空间信息进行高效采集、分析、处理与应用, 贯穿于建筑工程从最初的规划设计到最终拆除的整个生命周期。在每个阶段, 空间智能技术都发挥着独特且重要的作用, 不仅改变了传统建筑工程的运作模式, 还显著提升了工程各方面的性能与效益。深入研究空间智能在建筑

工程全生命周期的应用, 对于推动建筑行业的创新发展、提高资源利用效率、增强建筑的可持续性具有重要意义^[1]。

2 空间智能技术概述

2.1 定义与范畴

空间智能是指运用科学技术对空间信息进行感知、分析、模拟和决策的能力。在建筑工程领域, 它融合了计算机科学、地理学、建筑学等多学科知识, 通过一系列先进技术手段实现对建筑空间的全方位把控。其范畴包括但不限于建筑信息模型 (BIM)、地理信息系统 (GIS)、物联网 (IoT)、虚拟现实 (VR)、增强现实 (AR) 以及人工智能 (AI) 在空间分析中的应用等^{[2][3]}。这些技术相互关联、协同工作, 为建筑工程全生命周期提供了强大的技术支持。

2.2 核心技术介绍

2.2.1 建筑信息模型 (BIM)

BIM 是一种数字化的三维模型技术, 它整合了建筑工程项目在规划、设计、施工和运营维护阶段的所有相关信息。

【作者简介】陈沙沙 (1987-), 女, 中国云南昆明人, 硕士, 高级工程师, 从事建筑空间智能、数字孪生、城市更新研究。

【通讯作者】罗峻豪 (1983-), 男, 中国云南普洱人, 本科, 高级工程师, 从事建筑空间智能、建筑工程、城市更新方向研究。

通过 BIM, 建筑设计师、工程师、施工人员和业主等各方可以在一个协同的平台上进行信息共享和交流。模型中的每个构件都包含了丰富的信息, 如几何形状、材料属性、成本信息、施工进度等。这种集成化的信息管理方式使得在建筑工程的各个阶段都能实现高效的沟通与协作, 有效减少错误和重复工作, 提高工程质量和效率^[4]。在设计阶段, 设计师可以利用 BIM 进行空间布局的优化, 实时查看不同设计方案对空间利用和建筑性能的影响; 在施工阶段, 施工人员可以根据 BIM 模型进行精确的施工指导, 避免施工冲突^[5]。

2.2.2 地理信息系统 (GIS)

GIS 主要用于采集、存储、管理、分析和显示与地理空间位置相关的数据。在建筑工程中, GIS 可以对项目场地的地形地貌、地质条件、周边环境等地理信息进行详细分析。通过 GIS 的空间分析功能, 如坡度分析、坡向分析、可视性分析等, 能够帮助设计师更好地选择建筑场地、优化建筑布局, 同时也为项目的可行性研究和环境影响评估提供重要依据。

2.2.3 物联网 (IoT)

物联网技术通过在建筑设备和构件中嵌入传感器、执行器等设备, 实现设备之间的互联互通以及数据的实时采集与传输。在建筑工程全生命周期中, IoT 可以对建筑的能耗、设备运行状态、室内环境参数等进行实时监测和控制。在运营维护阶段, 通过 IoT 技术, 管理人员可以远程监控建筑设备的运行情况, 及时发现设备故障并进行预警, 实现设备的预防性维护, 降低维护成本, 提高建筑的运行效率和可靠性^[6]。

3 空间智能在建筑工程规划设计阶段的应用

3.1 场地分析与选址

在建筑工程规划设计初期, 场地分析与选址直接关系到项目成败。GIS (地理信息系统) 通过卫星遥感、地形测绘等方式, 收集地形、地质、气候等多源数据, 生成包含坡度分析、洪水模拟的精细化报告。例如, 在山区项目选址时, GIS 可呈现等高线与坡向, 规避滑坡风险; 通过交通网络分析, 计算场地到枢纽的通行时间。其缓冲区和叠置分析功能, 能划定限制范围、生成适宜性评分。结合 BIM 技术, 可三维整合地理与设计信息, 直观展现建筑与场地的空间关系, 提升选址科学性。

3.2 概念设计与方案优化

概念设计阶段, 空间智能技术助力创新。BIM 的参数化设计可通过调整形体、尺度等参数, 快速生成多种方案。如设计商业综合体时, 改变中庭高度、商铺配比, 对比不同方案的空间与商业价值。VR 和 AR 技术则带来沉浸式展示体验, 设计师用 VR 构建虚拟模型, 让业主“置身”其中感受空间布局; AR 将模型叠加于真实场地, 呈现建筑与景观融合效果, 便于业主提出针对性建议。AI 借助深度学习分析海量案例, 能根据气候推荐窗墙比、优化公共空间动线, 实现功能与创新的平衡。

3.3 协同设计与沟通

建筑设计涉及多专业协作, BIM 平台打破信息壁垒。各专业设计师在平台整合模型, 实时共享数据、查看进展。其碰撞检查功能可自动定位管道与结构梁等冲突点, 生成可视化报告。以大型医院项目为例, 能提前发现手术室管道与机电管线矛盾, 避免施工返工。同时, BIM 支持云存储与在线协作, 不同地区团队可实时共享、编辑模型。项目管理者还能通过 BIM 进行 4D 施工模拟, 展示施工顺序与资源调配, 提升全周期管理效率。

4 空间智能在建筑工程施工建设阶段的应用

4.1 施工进度管理

建筑工程施工阶段, 科学的进度管理是项目按时交付的保障。基于 BIM 模型与物联网技术构建的实时监控系統, 成为高效管理的核心工具。通过在塔吊、升降机等关键设备及建筑构件上部署传感器, 可实时采集施工进度数据, 并与 BIM 模型中的进度计划对比分析。管理人员借助可视化界面, 能直观掌握施工进度, 一旦发现偏差, 可立即调整资源配置。例如, 运用 BIM 的 4D 功能, 将三维模型与时间维度结合, 动态展示各施工阶段的进度情况, 帮助合理规划人力、材料和机械投入。此外, 通过数据分析与预测算法, 可提前预判潜在的进度延误风险, 如恶劣天气或材料供应中断等, 为项目决策提供前瞻性支持。

4.2 施工质量控制

施工质量决定建筑工程的生命线, 空间智能技术为质量把控提供了多维手段。BIM 技术可对施工流程进行模拟预演, 提前识别模板支撑体系不合理、管线交叉冲突等质量隐患, 并制定预防方案。施工过程中, 物联网技术发挥关键作用: 混凝土浇筑时, 传感器实时监测坍落度、温度等参数, 确保配比达标; 钢结构安装中, 全站仪精准测量安装精度, 实现毫米级误差校准。无人机航拍与图像识别技术则实现大范围质量巡检, 快速定位墙面空鼓、裂缝等缺陷。此外, 基于 BIM 与物联网搭建的质量追溯系统, 将材料批次、施工人员、检测数据等信息与建筑构件绑定, 一旦出现质量问题, 可快速溯源并精准整改。

4.3 施工现场安全管理

面对复杂高危的施工现场, 空间智能技术为安全管理注入新动能。物联网与 AI 图像识别技术构建起实时监测网络, 摄像头可自动识别未佩戴安全帽、违规操作等行为, 传感器持续监测噪声、粉尘、有害气体浓度, 超标时立即触发警报。BIM 与 VR 技术则创新了安全教育模式, 通过创建 1:1 虚拟施工场景, 施工人员可沉浸式学习安全规范、演练火灾逃生等应急流程, 强化安全意识与处置能力。此外, 整合安全监测数据、人员定位、设备状态等信息的管理平台, 实现对施工现场的全方位、动态化监控, 显著降低高空坠落、机械伤害等安全风险。

5 空间智能在建筑工程运营维护阶段的应用

5.1 设备管理与维护

建筑运营维护中,设备管理至关重要。物联网与 BIM 技术融合,实现设备全生命周期智能化管理。传感器实时采集电梯、空调等设备的温度、振动等参数,经物联网传输至系统并与 BIM 模型关联。管理人员通过三维界面查看设备状态,异常时系统自动预警,并基于历史数据推荐维修方案。AI 算法深度分析运行数据,预测潜在故障,提前维护,降低停机风险,节约成本。

5.2 能源管理与优化

空间智能技术助力建筑节能降耗。物联网监测照明、空调等能耗数据,BIM 构建能源模型模拟能耗分布。AI 算法结合环境及使用场景,智能调控设备:智能照明依光线和人员自动调节,空调随温湿度及人员密度动态运行。能源管理平台分析数据,定位能耗高峰与高耗能设备,针对性优化策略,显著提升能源效率^[7]。

5.3 空间利用与改造

面对建筑功能变化,BIM 与物联网协同优化空间。BIM 建模分析现有布局与承载,物联网采集人员流动等数据评估利用效率。如发现会议室闲置后,结合需求用 BIM 与 VR 模拟改造方案,直观展示隔断调整、家具布局效果。施工阶段,BIM 模型精准指导管线、墙体施工,避免冲突,高效满足功能升级,延长建筑寿命。

6 空间智能应用面临的挑战与对策

6.1 技术集成与兼容性问题

空间智能技术涉及多种技术的集成应用,不同技术之间的兼容性和数据交互存在一定的挑战。例如,BIM 模型与 GIS 系统的数据格式和数据标准存在差异,导致两者之间的数据集成难度较大。为解决这一问题,需要制定统一的数据标准和接口规范,促进不同技术系统之间的数据共享和交互。同时,加强技术研发和创新,开发能够实现不同技术系统无缝集成的中间件和平台,提高技术集成的效率和稳定性^[8]。

6.2 人才短缺问题

空间智能技术的应用需要既懂建筑工程专业知识又掌握先进技术的复合型人才。目前,建筑行业此类人才短缺,制约了空间智能技术的推广应用。为应对这一挑战,建筑企业应加强与高校和科研机构合作,开展针对性的人才培养和培训计划。高校应优化建筑工程相关专业的课程设置,增加空间智能技术相关课程,培养适应行业发展需求的复合型人才。同时,建筑企业应加强内部培训,鼓励员工学习和掌握空间智能技术,提高员工的技术水平和应用能力。

6.3 成本投入问题

空间智能技术的应用需要投入大量的资金用于技术研发、设备购置、人员培训等方面,对于一些中小型建筑企业来说,成本压力较大。为解决成本投入问题,政府应加大对建筑行业智能化发展的政策支持和资金扶持力度,鼓励企业应用空间智能技术。例如,通过税收优惠、财政补贴等政策措施,降低企业应用空间智能技术的成本。同时,建筑企业应从长远发展的角度出发,合理规划成本投入,通过提高生产效率、降低运营成本等方式,逐步收回技术应用成本,实现经济效益和社会效益的双赢。

7 结论和展望

空间智能技术在建筑工程全生命周期的应用,为建筑行业的发展带来了革命性的变化。从规划设计阶段的场地分析、概念设计优化,到施工建设阶段的进度管理、质量控制和安全管理,再到运营维护阶段的设备管理、能源优化和空间利用改造,空间智能技术都发挥着不可替代的作用。然而,空间智能技术在应用过程中也面临着技术集成与兼容性、人才短缺、成本投入等挑战。为推动空间智能技术在建筑工程领域的广泛应用,需要政府、企业、高校和科研机构等各方共同努力,通过制定相关政策、加强技术研发、培养专业人才、优化成本投入等措施,克服应用过程中遇到的困难和问题。展望未来,随着科技的不断进步和创新,空间智能技术将在建筑工程领域得到更加深入和广泛的应用,为建筑行业的智能化、绿色化、可持续发展注入强大动力^[9]。

参考文献

- [1] 马妍,刘小林,肖丽,等.“十五五”时期超大城市数字化发展研究[J].新经济导刊,2025(04).
- [2] 张玉鑫.打造量子城市 构建数字化赋能超大城市治理新模式[J].中国测绘,2025(05).
- [3] 唐晓彬;闫啸彤;杨孟阳;耿蕴洁.新型智慧城市、经济高质量发展与环境质量的耦合协调研究——以中国超大城市为例[J].调研世界,2024(12).
- [4] 数字赋能超大城市现代化治理的逻辑与路径.张向和;罗军.智慧中国,2024(12)
- [5] 超大城市数字化转型发展路径——以四川省成都市为例.张萌;郑正真.科技智囊,2024(04)
- [6] 低空经济赋能高质量发展的内在逻辑与实践路径[J].宋丹;徐政.湖南社会科学,2024(05)
- [7] 从全球看低空经济产业发展态势[J].王幸芳.杭州,2024(16)
- [8] 低空经济发展的理论逻辑、要素分析与实现路径[J].周钰哲.东南学术,2024(04)
- [9] 提高生成式人工智能伦理要求的研究.魏雪松.经营与管理