

智慧工地与数字孪生在建设工程中的结合应用研究

金蕾¹ 张玉彬¹ (通讯作者) 黄景² 陈新³ 丁侦原³

1. 江苏省人民医院; 2. 南京合智信息技术有限公司; 3. 江苏省建筑安全监督总站

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11596

[摘要] 随着信息技术的迅猛发展, 建筑行业面临着日益复杂的项目管理需求和施工挑战。智慧工地与数字孪生技术作为新兴科技手段, 为建设工程的数字化变革开辟了新的路径。智慧工地依托物联网、云计算、大数据等技术, 能够实时监控和管理施工现场的环境、设备以及人员动态, 是与传统建筑施工相结合的创新模式; 而数字孪生技术通过虚拟场景映射真实施工, 结合多维数据, 对施工过程中的安全、质量、进度以及其他潜在影响因素进行全面的模拟与预测, 两者的融合, 使得智慧工地能够在虚拟空间中构建出与实际工地相对应的数字化模型, 实现对工地全过程的实时监控和精准管理。本文深入研究智慧工地与数字孪生技术在建设工程中的融合应用, 分析其在提升工程管理水平中的作用, 并展望未来的技术发展趋势。

[关键词] 智慧工地; 数字孪生; 施工管理

一、智慧工地的技术概述与应用

智慧工地是建筑行业数字化转型的重要方向, 它通过应用物联网、大数据、云计算、人工智能等新兴技术, 对建筑工地进行数字化、信息化、智能化改造, 实现对工地的全面感知、实时监控和智能管理。其技术构成主要包括感知层、传输层、数据层和应用层。感知层通过各类传感器和智能设备采集现场数据, 如环境温度、设备工况、人员位置等; 传输层借助高速网络将数据传输至边缘端和云端; 数据层利用大数据和人工智能技术对海量数据进行分析 and 处理; 应用层则通过智能平台实现对施工全过程的远程管理、质量安全预警、进度控制等功能。

智慧工地主要针对安全、质量、进度开展工作, 在应用场景上, 主要体现在智能设备管理、能耗监控、环境监测、人员管理、安全预警等方面。例如变形智能监测, 在现场基坑监测阶段和高支模施工阶段, 通过综合利用传感器, 对基坑变形、位移等进行自动监测, 实现实时监测、超限预警、危险报警等, 与传统人工监测相比, 工作效率明显提升, 并且减少人为失误降低安全隐患, 还能为工程管理提供科学的决策依据。

二、数字孪生的技术原理与功能

数字孪生技术是一种通过虚拟建模将物理实体及其行为在数字空间中进行全息映射的技术。其核心原理是基于物联网、传感器网络、实时数据分析等技术, 对物理对象的实时状态、行为和变化进行精确的数据采集, 并在虚拟空间中生成一个与之完全同步的数字化镜像。通过持续的数据传输, 数字孪生可以模拟和反映物理实体的动态运行过程, 并预测未来可能的变化。

在建设工程中, 数字孪生的功能主要体现在四个方面: 首先, 通过虚拟模型对项目进行实时可视化管理, 动态监控施工进度; 其次, 借助历史数据和实时信息进行模拟推演, 预测潜在的风险和问题; 第三, 利用数据分析结果优化资源调配与施工决策; 最后, 通过虚实结合, 提供远程运维和管理支持, 提高决策的精确度和施工管理的效率。数字孪生因此成为建设工程中保障安全、提升质量、优化进度的关键工具。

三、智慧工地与数字孪生的关系

数字孪生是技术, 智慧工地是应用。数字孪生技术与智慧工地之间的关系是相辅相成的, 它们共同推动了建筑行业的数字化转型和智能化升级。智慧工地通过信息化平台的建设, 实现了施工现场各维度真实数据的采集、汇聚、存储和分析, 数字孪生技术利用原有智慧工地平台的数据基础, 将物理工地与虚拟模型相互映射和融合, 通过对真实场景的数字化模拟, 实现对施工过程的可视化、数字化以及智能化管理, 在安全管理、质量管理、成本控制、进度管控、决策与

评估等方面发挥价值。数字孪生是对智慧工地的进一步技术赋能, 数字孪生技术为智慧工地提供了一个全面、实时、精确的监控和管理平台, 使得施工过程更加高效、安全、经济, 同时也推动了建筑行业向更智慧化的方向发展。

四、智慧工地与数字孪生的结合模式

1. 数据驱动的整体路径

智慧工地与数字孪生的结合主要依靠数据的无缝对接。物联网设备、传感器、摄像头等装置在施工现场收集环境信息、设备运行状态、工人作业情况等多种数据。这些数据通过高速网络传输到云端进行存储和处理。数字孪生技术接收这些实时数据, 将物理场景映射到虚拟模型中, 形成与施工现场同步的动态数字空间。数据的整合通过云计算平台完成, 项目管理者可以基于这些数据进行施工进度跟踪、资源分配优化及潜在问题分析。

智慧工地提供的现场数据为数字孪生的模型运行提供了可靠的依据, 而数字孪生则通过模拟、预测和分析反馈这些数据, 进一步优化施工管理。通过这种双向数据流动, 施工现场和虚拟模型形成了一个动态的闭环, 使施工各个环节更加透明、可控。

2. 虚实结合的实时监控与预测

在施工过程中, 智慧工地实时获取的现场信息通过数字孪生技术展现在虚拟空间中。数字孪生根据这些数据, 实时更新虚拟工地的模型状态, 使虚拟环境与实际施工现场保持同步。管理者可以通过这一虚拟模型对施工现场的安全状况、设备运行状态、工程进度等进行实时监控, 并根据现场变化做出即时调整。此外, 数字孪生不仅仅反映当前的施工状况, 还可以基于实时数据进行模拟推演。通过分析当前施工进度和环境条件, 数字孪生能够预测未来可能出现的问题, 并生成多种应对方案。项目管理者可以在虚拟环境中进行多方案对比, 选择最优的应对措施, 从而有效规避施工中的潜在风险。这种虚实结合的模式为施工管理提供了前所未有的灵活性和精确性。

五、智慧工地与数字孪生在工程管理中的具体应用

1. 施工全场景的应用

数字孪生平台通过加载遥感影像、数字高程、矢量地图等地理信息数据和工地倾斜摄影、三维建模等三维模型数据, 构建出三维立体的工地数字孪生场景, 可以在三维场景中对工地环境、建筑分布、施工作业分区、设备分布等工地全要素事物进行直观呈现, 实现项目的室内室外、地上地下全方位 360° 全景展示。同时, 将多源数据分析后的态势信息进行综合展示, 辅助管理者快速掌控工地整体态势, 为科学决策与精准指挥提供数据支撑。

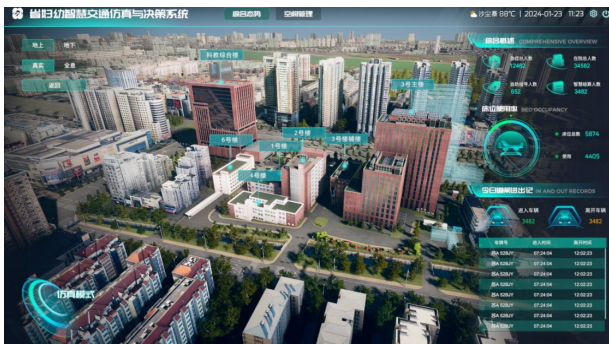


图 1-全景整体



图 2-内部地下车库

2. 施工安全管理中的应用

在施工安全管理中, 智慧工地和数字孪生技术通过实时监测和模拟分析, 有效提升了现场的安全水平。智慧工地通过安装在施工现场的各类传感器, 监控环境因素, 如温度、湿度、气体浓度等, 还能跟踪设备的运行状况和工人的行为。通过这些数据, 管理人员可以及时发现异常情况, 例如设备故障、人员违规操作或环境条件不适合施工, 进而迅速采取措施, 减少安全事故发生的概率。

2.1 视频监控三维空间管理

在工地数字孪生场景中, 将工地中安装的摄像机进行直观标注, 以虚拟标签的形式, 在摄像机的真实安装位置进行直观呈现, 帮助使用者快速掌控摄像机的分布情况。同时可以在三维场景中对摄像机的安装角度、覆盖范围、以及摄像机工作状态进行直观查看, 实现工地视频资源的便捷浏览与高效运维。

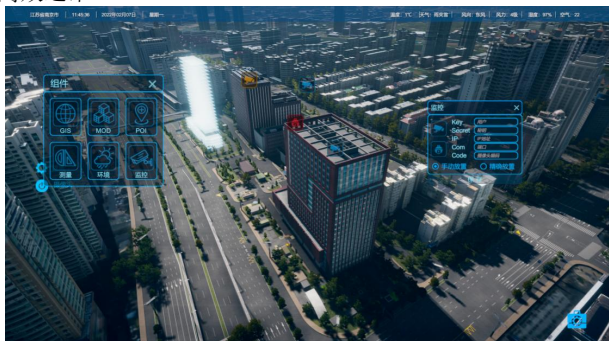


图 3-视频监控三维空间

2.2 违规行为三维场景联动

利用工地中安装的视频监控设备, 通过叠加智能识别所发, 可实现对施工作业区中未佩戴安全帽、未穿工作服、危险区域闯入、抽烟、玩手机、打架、聚众、破坏设备设施等多种违规行为进行智能识别, 并进行及时告警。告警数据与三维场景联动, 当有违规告警事件发生时, 系统及时弹出告

警提醒, 并可联动场景中精准定位至告警区域, 实现告警事件的及时发现与定位, 同时联动监控视频进行实景详情查看, 辅助使用者实现对工地中异常行为由发现、到定位、到研判、再到处理的全流程管理, 保障工地人员与财产安全。

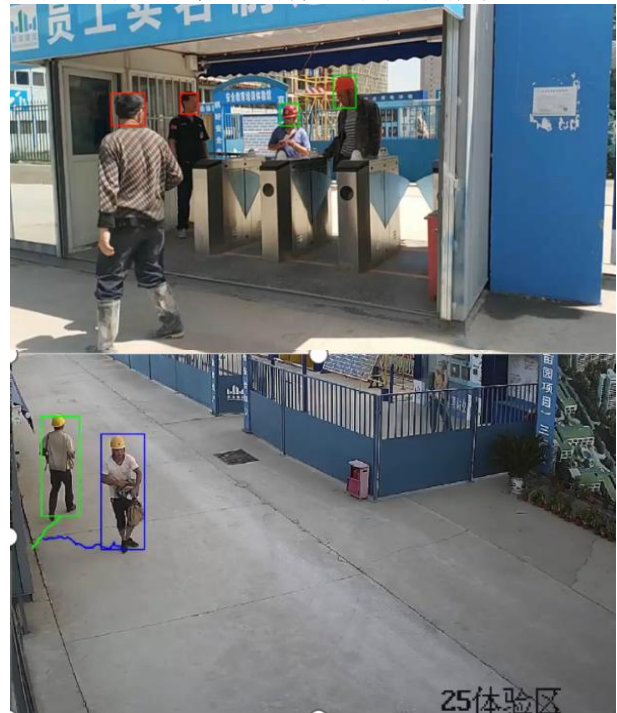


图 4-违规行为三维联动

2.3 人员进出三维场景管理

通过在工地个出入口安装速通门设备, 配合使用人脸识别摄像机、红外测温摄像机等, 实现工地进出控制、考勤统计、识别比对、体温检测等多种智慧人员管理功能。将监控视频与工地出入口模型进行三维视频融合, 联动业务管理数据, 在工地数字孪生场景中对各出入口的实景动态与人员进出情况进行直观展示。体温异常、黑名单、陌生人等异常告警事件直观提醒, 并可联动三维场景精准定位, 结合融合视频对现场实时态势精准掌控, 实现工地人员进出情况的精准化管控。

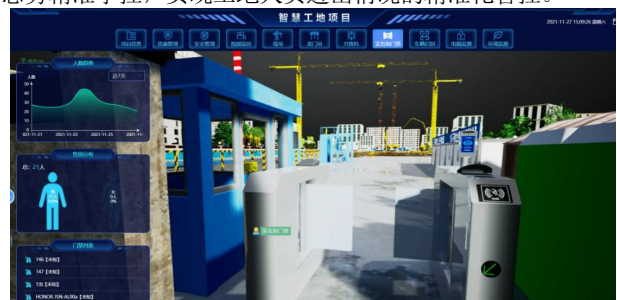


图 5-人员进出三维场景

2.4 消防安全三维场景联动

数字孪生系统接入工地消防管理系统数据, 在工地三维场景中对各消防设施及消防智能化设备的分布情况进行直观展示, 并与系统数据联动, 工地管理人员可控制场景定位至设备区域进行详情信息查看。基于监控视频, 可叠加智能识别算法, 实现工地范围内烟火自动识别, 并产生告警信息。当有消防事件发生时, 三维场景中及时弹出告警提示, 并联动场景进行精准定位, 联动摄像机进行实景查看, 辅助工地管理人员对消防应急事件的响应处置。



图6-消防安全三维联动

3. 施工环境中的应用

将真实环境中当前的天气通过 API 与系统对接, 展现在系统内部实现实时天气变化, 提供 24 种天气效果包含雨雾冰雪等多种天气实时展现, 并可需求通过前端编辑器自定义天气展现。

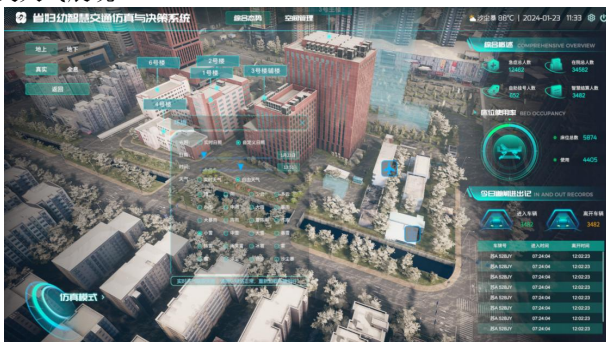


图7-环境三维展示

4. 质量监控与评估中的应用

在质量监控和评估方面, 智慧工地通过实时数据采集和分析, 确保了施工过程的规范性和材料的合规性。物联网设备能够检测施工中的材料质量、工艺流程和施工参数, 及时反馈施工中的任何偏差。比如, 传感器可以监控混凝土的温度和湿度变化, 确保浇筑过程符合要求, 避免出现质量隐患。现场的施工图像和数据也能上传至云端, 管理人员通过移动设备即可随时掌握施工进度和质量状况, 减少了人为监控的局限性。



图8-质量监控与评估三维展示

5. 进度优化与动态调整

在施工进度管理中, 智慧工地与数字孪生技术的结合大大提升了项目进度的可控性与灵活性。智慧工地通过物联网设备实时采集施工现场的进度数据, 如设备运转情况、人员到岗信息以及施工环节的完成状态。这些数据直接反馈到管

理平台, 项目负责人可以随时了解现场的工作进展, 调整资源配置, 避免出现工期拖延和资源浪费的情况。

数字孪生技术则通过虚拟模型对整个施工过程进行模拟和预测, 帮助管理者提前发现进度上的瓶颈。系统可以根据当前的进度数据, 生成多种可行的调整方案, 如调整工序顺序、增加人力资源或优化设备使用。管理者可以通过虚拟场景测试不同的调整方案, 并根据模拟结果选择最优方案加以实施, 从而有效减少施工中的延误和不必要的停工。通过这种实时动态调整, 施工进度能够更加灵活和高效地得到控制。

6. 复杂施工环境中的交通仿真与决策支持

将依据真实数据分析出来的交通车流量分析, 真实地呈现在场景内, 通过可视地化手段, 直观展示出施工完成后对周边交通车辆的影响, 为科学决策提供有力支撑。



图9-仿真车流规划



图10-交通车流分析

六、结语

通过对智慧工地和数字孪生技术在建设工程中的结合应用进行深入分析, 可以清晰看到, 这两项技术不仅为施工过程的管理带来了新的手段, 也大幅提升了安全性、质量控制和进度管理的效率。笔者认为, 智慧工地通过实时数据监控, 及时反馈施工现场的各种状态, 而数字孪生则为管理者提供了虚拟仿真和预测功能, 使复杂环境中的决策更加精确。未来, 随着人工智能和 5G 技术的进一步发展, 智慧工地与数字孪生的融合将更加深入。我们相信, 建筑行业的管理方式将更加智能化、精准化, 为工程的可持续发展提供更有力的支持。

【参考文献】

- [1] 文萌. 数字化管理手段在建筑工程施工中的有效应用[J]. 科技经济市场, 2023, (05): 27-29.
- [2] 黄厚军, 张晚艳, 张晓, 等. 施工企业平台型管理模式探索与实践[J]. 国企管理, 2023, (04): 112-120.
- [3] 沈娟斐, 李超, 陈岳飞. 数字孪生在建筑工程领域的应用[J]. 中国检验检测, 2022, 30 (03): 6-10.