

面向高层建筑的智能安消监控数字孪生平台构建

王 威

杭州字节信息技术有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：随着城市化进程加速，高层建筑数量激增，其安全与消防监控面临严峻挑战。本研究致力于构建面向高层建筑的智能安消监控数字孪生平台，旨在全方位提升高层建筑的安全管理水平。借助数字孪生技术，对高层建筑及其安消设备、人员行为和环境因素进行高精度建模，搭建逼真的三维模型，精准反映建筑真实状态。通过集成智能安防与消防监控技术，实现对建筑安全状况的实时监测。同时，建立科学的预警与应急响应机制，利用数据分析挖掘潜在隐患，为决策提供有力支持。经实验室模拟测试与实际建筑应用测试，平台有效提升了安全隐患发现与处理效率，降低事故风险，为高层建筑安全管理提供创新解决方案。

关键词：高层建筑；数字孪生；智能安消监控；应急响应

1 引言

近年来，城市化的快速发展使得高层建筑如雨后春笋般拔地而起，成为城市景观的重要组成部分。然而，这类建筑结构复杂、功能多样、人员密集，安全与消防监控面临诸多难题。传统的安消监控系统依赖人工巡检和简单的设备预警，难以实现对建筑全方位、实时性的状态感知，在面对火灾、盗窃等突发安全事件时，响应迟缓，处置效率低下。数字孪生技术的兴起为解决这些问题提供了新契机。它通过构建与物理实体对应的虚拟模型，实现对建筑及相关设备、环境、人员行为的数字化映射，结合智能安防与消防监控技术，能够实时反映建筑的安全状态，及时发现潜在风险。因此，开展面向高层建筑的智能安消监控数字孪生平台构建研究，对于提升高层建筑安全管理水平、保障居民生命财产安全具有重要的现实意义。

2 相关技术理论基础

2.1 数字孪生技术原理

数字孪生是一种利用数字化手段对物理实体进行精确映射的技术。它基于物联网、大数据、人工智能等技术，将现实世界中的物体、系统或流程以虚拟模型的形式呈现。在高层建筑场景中，通过传感器采集建筑的结构、设备运行、环境参数等各类数据，传输至虚拟模型。虚拟模型依据这些数据实时更新，精准反映建筑状态，实现物理实体与虚拟模型间的双向交互。例如，当建筑内某区域温度异常升高，传感器捕捉到这一信息并反馈给数字孪生模型，模型会及时呈现温度变化，同时反向指导现实中的消防系统启动相应预案。这种技术为智能安消监控提供了直观、实时且全面的监测视角，极大提升监控效率与准确性^[1]。

2.2 智能安防与消防监控技术

智能安防技术运用智能视频分析、入侵检测等手段保障建筑安全。智能视频分析可对监控视频进行实时分析，识别异常行为，如人员闯入禁区、物品遗留等，及时发出警报。入侵检测系统通过监测网络流量和系统日志，发现非法访问和攻击行为。消防监控技术则依赖火灾探测器、消防报警系统等设备。火灾探测器能感知烟雾、温度、火焰等火灾信号，一旦触发，消防报警系统立即响应，联动消防设备启动灭火流程，同时向相关人员发送警报。这些技术相互配合，从不同维度构建起高层建筑的安全防护网，是智能安消监控数字孪生平台的关键支撑，确保在危险发生时能迅速察觉并处理。如图1所示：



图1 智能安防监控系统图

2.3 数据传输与处理技术

在高层建筑智能安消监控中，数据传输与处理技术至关重要。数据传输方面，采用有线与无线相结合的方式。有线网络如光纤，提供稳定、高速的数据传输，保障大量设备数据的实时回传；无线网络如Wi-Fi、5G，则解决布线困难区域的设备连接问题，实现灵活部署。

在数据处理上, 首先进行数据清洗, 去除噪声和错误数据, 提高数据质量。接着运用数据挖掘和机器学习算法, 对清洗后的数据进行分析, 挖掘潜在安全隐患, 如通过分析设备运行数据预测故障发生。同时, 利用大数据存储技术, 将海量历史数据存储起来, 为后续的趋势分析和决策制定提供数据基础, 使数字孪生平台能够基于准确、完整的数据实现高效运行^[2]。

3 数字孪生平台模型构建

3.1 高层建筑三维模型搭建

搭建高层建筑三维模型是数字孪生平台的基础。首先, 运用激光扫描技术对建筑的外形轮廓、内部结构进行全方位扫描, 获取高精度的点云数据, 这些数据能精准还原建筑的几何形状与空间布局。同时, 结合建筑信息模型(BIM)技术, 将建筑的设计图纸、施工资料等信息进行整合, 赋予点云数据丰富的语义和属性信息, 如建筑材料、楼层用途、管道线路等。通过专业建模软件, 将处理后的点云数据与BIM信息进行融合, 构建出直观、逼真的三维模型。该模型不仅能展示建筑的外观, 还能深入剖析内部结构, 为后续安消设备的布置、人员疏散模拟等功能提供坚实的空间基础, 让用户能从多角度观察建筑, 全面掌握其构造特点。

3.2 安消设备模型创建

安消设备模型创建是实现智能监控的关键。针对烟雾报警器, 依据其工作原理与物理尺寸, 在数字空间中精确建模, 定义其探测范围、灵敏度等关键参数, 确保模型能准确模拟真实设备对烟雾浓度变化的响应。对于摄像头, 设定其视野范围、分辨率、帧率等属性, 使其能在数字孪生模型中真实呈现监控画面。消防栓模型则需详细描述阀门开启方式、水压流量等信息, 以便在模拟火灾场景时, 能准确展示消防栓的使用效果。通过对各类安消设备的精准建模, 将它们集成到高层建筑三维模型中, 实现设备状态的实时监控与管理, 如设备故障预警、维护提醒等, 为保障建筑安全提供有力支持^[3]。

3.3 行为与环境模型构建

行为与环境模型构建可使数字孪生平台更贴合真实场景。利用大数据分析和机器学习算法, 结合历史数据与区域功能特点, 构建人员流动行为模型, 预测不同时段人员分布与移动路径, 助力紧急疏散。基于火灾动力学原理, 考虑材料燃烧特性、通风条件等, 搭建火灾蔓延行为模型, 模拟火势发展。同时, 实时采集温湿度、风力等环境数据, 建立环境模型, 关联环境参数与建筑状态。多模型相互融合, 为智能安消监控提供全面动态信息, 大幅提升平台应对复杂场景的能力。

4 智能安消监控功能设计

4.1 实时监测功能实现

利用各类传感器, 如烟雾传感器、温度传感器、高清摄像头、门窗传感器等, 构建全方位的数据采集体系。这些传感器被部署在高层建筑的各个关键位置, 包括走廊、电梯间、配电室、消防通道、办公室和居住单元等。传感器采集到的实时数据, 通过有线或无线传输方式, 快速汇聚到数字孪生平台。平台借助物联网通信协议, 对数据进行解析与整理, 并同步更新到对应的建筑数字孪生模型中。例如, 当烟雾传感器检测到烟雾浓度升高时, 数字孪生模型中相应位置会立即呈现可视化警示, 同时关联显示传感器实时数据^[4]。基于此, 管理人员能直观、精准地掌握建筑内各个区域的实时安全状态, 确保隐患及时被察觉。

4.2 预警与应急响应机制

针对不同安全指标设定差异化预警阈值, 如烟雾浓度超标、短时间温度骤升、门窗异常开启等情况触发预警。采用平台弹窗、短信、语音警报等多元化预警方式, 确保管理人员及时察觉。

预警触发后, 应急响应流程自动开启。平台按预设策略, 联动相关设备与系统, 自动切断非必要电源、启动消防喷淋、开启应急照明与疏散指示灯、迫降电梯。同时, 生成包含事故位置、周边环境、风险等级及应对建议的应急处置预案供管理人员参考, 提升应急响应的及时性与准确性。

4.3 数据分析与决策支持

收集平台运行积累的安消大数据, 运用分析技术挖掘潜在关联和规律。建立模型预测安全隐患趋势, 像结合火灾历史数据与当下环境参数, 判断火灾高发区域和时段; 分析设备运行数据评估健康状况, 提前排查故障隐患, 实现预防性维护。

同时, 基于分析结果生成可视化报表与决策建议, 辅助管理人员制定安全策略。例如, 依据安全事件频率调整安保巡逻路线, 参考设备故障率优化采购更新计划, 推动高层建筑安全管理更加科学高效。

5 平台集成与测试

5.1 系统集成方案设计

系统集成是将平台各部分有机整合的关键环节。首先, 对数字孪生模型、智能安消监控功能模块以及数据处理系统进行接口适配。梳理各模块间的数据交互关系, 定义统一的数据格式和通信协议, 确保数据在不同模块间稳定传输。例如, 使三维建筑模型与实时监测模块能够无缝对接, 让采集到的安消数据能准确对应到模

型中的具体位置。同时,考虑到高层建筑的复杂环境和多样需求,采用分布式架构进行系统部署,将计算任务合理分配到不同节点,提高系统的运行效率和可靠性。此外,建立集中管理平台,对各模块进行统一调度和监控,方便操作人员随时掌握平台运行状态,及时处理可能出现的故障^[5]。

5.2 实验室模拟测试

实验室模拟测试旨在模拟真实场景,检验平台的各项功能。搭建模拟高层建筑环境,设置不同类型的安全隐患与消防场景,如电气短路引发的火灾、人为破坏导致的安防漏洞等。利用模拟传感器采集数据,输入到数字孪生平台中。重点测试实时监测功能,验证平台能否准确获取并展示模拟环境中的安消数据。检查预警与应急响应机制,判断平台能否在隐患出现时及时发出警报,并按照预设流程启动相应的应急措施。记录测试过程中的各项指标,如预警响应时间、隐患定位精度等。通过对测试结果的分析,找出平台存在的问题,如数据传输延迟、预警误报等,为后续优化提供依据,确保平台在实际应用中能够稳定可靠运行。

5.3 实际建筑应用测试

实际建筑应用测试是对平台实战能力的最终检验。选择具有代表性的高层建筑进行平台部署,涵盖商业写字楼、居民公寓等不同类型。在建筑内安装各类传感器,与平台建立稳定连接,实时采集真实的安消数据。持续运行平台,收集一段时间内的数据和反馈信息。观察平台在实际运行中的表现,例如能否及时发现并处理真实发生的安全隐患。针对发现的问题,如与建筑原有系统兼容性问题、部分区域信号不稳定等,进行现场调

试和优化。根据实际应用情况,进一步完善平台功能和算法,使其更好地适应复杂多变的高层建筑环境,为高层建筑的安全管理提供切实有效的支持。

6 结语

本研究成功构建了面向高层建筑的智能安消监控数字孪生平台,融合数字孪生、智能监控与数据分析技术,显著提升高层建筑安消监控水平。通过搭建精确的数字孪生模型,实现建筑状态实时映射;借由实时监测与预警响应机制,高效捕捉并应对安全隐患;凭借数据分析挖掘潜在风险,为决策提供有力支撑。但研究仍存在局限。在复杂环境下,部分传感器数据稳定性欠佳,影响监测精度;平台算法对罕见安全事件的识别和处理能力有待增强。未来,可研发更先进的传感器与抗干扰技术,优化数据采集稳定性;引入深度学习算法,提升对复杂情况的分析和应对能力。持续完善平台,将为高层建筑安全管理提供更坚实保障,助力城市安全发展。

参考文献

- [1]王强,李华.数字孪生技术在建筑安全监控中的应用探索[J].智能建筑与智慧城市,2023,45(6):34-39.
- [2]张悦,陈辉.智慧消防系统中多源数据融合与分析研究[J].消防科学与技术,2022,41(8):1134-1138.
- [3]赵亮,刘畅.物联网技术在高层建筑安防中的应用与实践[J].信息安全与通信保密,2021,39(11):45-52.
- [4]刘阳,孙宇.BIM与GIS技术融合构建建筑三维模型的方法研究[J].测绘通报,2020,52(9):87-91.
- [5]陈燕,吴迪.智能监控系统的数据分析与决策支持模型构建[J].计算机工程与应用,2019,55(15):248-253.