

数字孪生驱动的城市高层建筑消防远程监控平台研究

李 锋

浙江联盛安全科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：城市高层建筑数量不断增加，其消防安全备受关注。数字孪生技术为城市高层建筑消防远程监控平台的构建带来新契机。本研究剖析数字孪生技术原理，结合高层建筑消防远程监控需求，探讨两者融合的可行性。设计涵盖感知层、数据层、模型层、应用层的平台架构，明确各层级关键技术选型。制定数据采集、清洗、分析策略，构建并优化数字孪生模型。设计火灾预警等核心功能，设定性能指标并评估，提出优化措施。该平台有望提升高层建筑消防监控的实时性、精准性和智能化水平，为城市消防安全提供有力保障。

关键词：数字孪生；高层建筑；消防远程监控；平台架构；数据处理

1 引言

随着城市化进程加速，城市高层建筑如雨后春笋般涌现。这些建筑功能复杂、人员密集，一旦发生火灾，极易造成重大人员伤亡和财产损失。传统消防监控手段难以满足高层建筑对火灾预警、实时监测和快速响应的需求，其局限性日益凸显。数字孪生技术作为新兴技术，能够构建与现实场景高度匹配的虚拟模型，实现对物理实体的实时映射和精准管控。将其引入城市高层建筑消防远程监控领域，可打破传统监控的瓶颈。通过创建建筑及消防设施的数字孪生模型，能实时感知火灾风险、精准定位故障设备，为消防决策提供有力支持。研究数字孪生驱动的城市高层建筑消防远程监控平台，对提升城市消防安全水平、保障居民生命财产安全意义重大。

2 数字孪生与消防远程监控相关理论基础

2.1 数字孪生技术原理剖析

数字孪生技术是一种利用数字化手段，创建与物理实体相对应的虚拟模型的技术。其原理是通过传感器采集物理实体的各类数据，如建筑结构、消防设备运行状态等。这些数据被实时传输到虚拟模型中，使虚拟模型能精准反映物理实体的真实状态。在建模过程中，运用多种技术构建模型，如BIM技术用于构建建筑结构模型，精确呈现建筑的空间布局和内部构造。同时，结合物联网技术，实现数据的实时采集与传输，保证虚拟模型与物理实体的同步更新。数字孪生技术还利用数据分析和仿真技术，对物理实体未来状态进行预测。如预测消防设备故障发生概率，提前进行维护，从而提高整体系统的可靠性和安全性。

2.2 高层建筑消防远程监控需求分析

高层建筑人员密集、功能复杂，消防远程监控至关重要。在火灾预防方面，需要对建筑内的电气设备、消

防设施进行实时监测，及时发现潜在火灾隐患，如线路老化、消防水压不足等。在火灾发生时，要能快速定位火源位置，掌握火势蔓延方向，为消防救援提供准确信息^[1]。从应急响应角度看，需实现消防设备的远程控制，提高灭火效率。此外，还应具备对消防通道畅通情况的监测功能，确保疏散通道无阻。同时，要将监控数据实时反馈给消防部门和建筑管理人员，以便及时做出决策，保障人员生命安全和减少财产损失。

2.3 两者融合的理论可行性探讨

数字孪生与高层建筑消防远程监控融合具有坚实的理论基础。数字孪生技术的实时映射特性，能够将高层建筑及消防设施的运行状态实时反映在虚拟模型上，为消防远程监控提供准确的数据支持。其预测功能可提前发现潜在的消防隐患，与消防远程监控的预防需求相契合。在技术实现上，物联网技术为两者融合提供了数据传输的桥梁，使传感器采集的数据能够在数字孪生模型和消防监控系统之间快速传递。云计算技术则为数据存储和处理提供强大的支持，确保系统能够高效运行^[2]。如图1所示。通过将数字孪生模型与消防远程监控系统相结合，能够构建一个更加智能化、精准化的消防监控体系，在理论上具备充分的可行性。

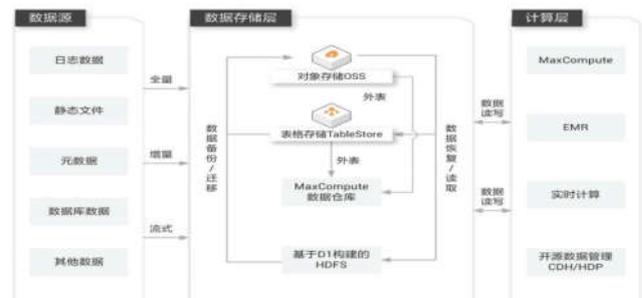


图1 云计算数据存储示意图

3 数字孪生驱动的平台架构设计

3.1 平台整体架构规划

平台采用分层架构,包含感知层、数据层、模型层和应用层。感知层分布大量传感器,负责采集建筑内消防设备状态、烟雾浓度、温度等数据。数据层承担数据存储与管理任务,运用分布式数据库存储海量实时数据和历史数据,保障数据的可靠性与可扩展性^[3]。模型层构建数字孪生模型,模拟建筑及消防设备的运行状况,通过数据分析预测潜在风险。应用层为用户提供操作界面,实现火灾预警、设备监控、应急指挥等功能。各层之间通过标准化接口通信,协同工作,以达成对高层建筑消防的全方位、实时监控。

3.2 各层级关键技术选型

感知层选用高精度、稳定性强的传感器,如烟雾传感器、温度传感器等,保障数据准确采集,如图2所示。数据层采用大数据存储与处理技术,像Hadoop分布式文件系统存储数据,借助Spark框架进行数据实时分析。模型层利用BIM技术搭建建筑结构模型,结合机器学习算法优化数字孪生模型,增强预测精度。应用层运用Web开发技术和移动应用开发技术,打造跨平台的用户交互界面,方便消防人员和管理人员随时随地查看信息、进行操作。通过这些关键技术选型,提升平台各层级的性能和功能。



图2 烟雾传感器

3.3 架构优势与创新性分析

该架构优势显著,分层设计让各功能模块分工明确,提高系统的可维护性和扩展性。数据层的分布式存储与处理技术,能应对海量数据,保证数据处理效率。模型层数字孪生模型的运用,实现对建筑消防状况的精准模拟和预测,增强预警能力。创新性体现在将数字孪生技术深度融入消防监控,构建动态虚拟模型实时反映现实状态。同时,应用层跨平台设计打破信息壁垒,方便多用户协同管理。整体架构从数据采集、处理到应用,为高层建筑消防远程监控带来全新思路和方法。

4 平台数据处理与模型构建

4.1 数据采集与传输策略

在城市高层建筑中,数据采集是平台运行的基础。在建筑内部及周边广泛部署各类传感器,涵盖温度、烟雾、水压、设备状态等监测点,确保全面获取消防相关数据。依据不同传感器的特性与数据变化频率,设定差异化采集周期,像烟雾浓度这类变化快的数据进行高频采集,而设备运行参数等相对稳定的数据则低频采集,以此提升采集效率并降低能耗。数据传输方面,采用有线与无线相结合的方式。对于距离近、数据量大的传感器,利用有线网络保障数据稳定传输;针对位置分散、布线困难的传感器,借助5G、LoRa等无线技术,确保数据能实时、准确地回传至平台^[4]。同时,运用数据加密技术,对传输中的数据进行加密处理,防止数据泄露,保障数据安全,为后续的分析和应用提供可靠的数据来源。

4.2 数据清洗与分析方法

原始采集的数据中往往包含噪声、错误值和重复数据,数据清洗必不可少。首先通过设定合理的数据阈值,剔除明显超出正常范围的异常值;再利用数据平滑算法,对波动较大的数据进行处理,去除噪声干扰。对于重复数据,则直接进行删除,保证数据的唯一性。清洗后的数据进入分析阶段,运用关联分析挖掘不同数据间的潜在联系,比如分析烟雾浓度与温度变化的关联,判断火灾发生的可能性。通过聚类分析对消防设备的运行状态数据进行分类,快速识别出设备的异常状态。时间序列分析则用于预测数据的变化趋势,如预测消防水压随时间的变

4.3 数字孪生模型构建与优化

构建数字孪生模型时,先基于建筑设计图纸和实地测量数据,运用BIM技术搭建精确的建筑三维模型,呈现建筑的结构、布局和消防设施分布。然后,为模型赋予消防设备的运行逻辑和物理特性,使其能模拟真实设备的运行状态。通过传感器采集的实时数据,驱动模型动态更新,确保与现实场景同步。为优化模型,不断调整模型参数,提高模拟的准确性。利用机器学习算法对大量历史数据进行训练,使模型能够更精准地预测消防设备故障和火灾发展趋势。同时,定期对模型进行评估,对比模型输出与实际情况,发现偏差及时修正,持续提升数字孪生模型的性能,为高层建筑消防远程监控提供更可靠的支持。如图3所示。

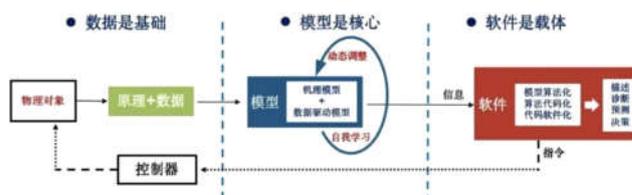


图3 数字孪生模型的流程示意图

5 平台功能实现与性能评估

5.1 消防监控核心功能设计

火灾预警是核心功能之一,通过对传感器采集的烟雾、温度等数据实时分析,一旦监测数据超出预设阈值,系统立即发出警报,并精确标注火灾可能发生的位置,通知相关人员。设备状态监测功能可实时掌握消防设备的运行状况,如消防泵的压力、消火栓的阀门状态等,一旦设备出现故障或异常,及时推送故障信息,便于维护人员快速处理,保障设备随时可用。应急指挥功能在火灾发生时发挥关键作用,平台整合现场实时信息、消防资源分布等数据,为指挥人员提供可视化的决策支持,协助制定科学的灭火和疏散方案^[1]。同时,平台还具备远程控制部分消防设备的能力,如启动喷淋系统、关闭通风管道等,提高应急响应效率,最大程度降低火灾损失。

5.2 平台性能指标设定与评估方法

平台性能指标主要包括响应时间、准确率和稳定性。响应时间指从监测到异常数据到发出预警或执行控制操作的时间,设定目标为在5秒内完成关键警报的响应。准确率体现为火灾预警的准确性以及设备状态监测的正确判断率,要求火灾预警准确率不低于95%,设备状态监测准确率达到98%以上。稳定性则考察平台在长时间运行过程中,持续稳定提供服务的能力,规定系统故障时间每月不超过1小时。评估时,采用模拟火灾场景和设备故障的方式,利用专业测试工具生成大量测试数据,监测平台的响应时间和处理结果,对比实际输出与预期结果,计算准确率。通过长时间不间断运行平台,记录故障发生次数和持续时间,评估稳定性,以此全面衡量平台性能。

5.3 功能与性能优化措施

针对功能优化,持续收集用户反馈,根据实际使用需求完善功能细节。例如,优化火灾预警界面,使其展

示信息更直观、全面,方便人员快速获取关键信息。对设备状态监测功能,增加故障预测功能,提前发现潜在故障隐患。在性能优化方面,优化数据处理算法,提高数据处理速度,降低响应时间。采用负载均衡技术,合理分配系统资源,避免因数据量过大导致系统卡顿,增强稳定性。定期对平台硬件设备进行升级维护,如更换高性能服务器、增加存储容量等,从硬件层面保障平台高效运行,不断提升平台的实用性和可靠性。

6 结语

数字孪生驱动的城市高层建筑消防远程监控平台研究取得重要成果。在理论融合、架构设计、功能实现等方面达成突破,成功构建平台框架,实现对高层建筑消防的实时、精准监控,提升城市消防安全保障能力。但研究存在局限,如模型对复杂场景模拟的精细度不够,平台与其他安防系统融合度不高。未来,应着力提升数字孪生模型的复杂度和精度,使其更好应对各类火灾场景。加强平台与其他安防系统的深度融合,构建全方位的城市安全监控体系。持续优化平台功能和性能,推动该技术在更多高层建筑中应用,为城市消防安全筑牢坚实防线,保障居民生命财产安全。

参考文献

- [1]季蓉蓉.高层建筑消防隐患与防火监督工作研究[J].工程建设与设计,2023,(22):44-46.
- [2]李思宇.高层建筑火灾监控系统研究[D].北京市:华北科技学院,2023.
- [3]郭天宝.高层和超高层建筑智慧消防体系构建研究[C].2024年度灭火与应急救援技术学术研讨会论文集-智慧消防与消防管理及其他.中国广东省珠海市,2024:15-19.
- [4]况东.超高层建筑消防给水监控子系统的研究及设计[J].现代建筑电气,2023,14(02):52-56.
- [5]李会.基于物联网技术的城市消防远程监控系统研究[J].信息记录材料,2023,24(08):214-216.