

基于数据融合与状态感知的建筑智能建造研究

韩光夷

(烟台仲伯企业管理咨询有限公司)

【摘要】为了提升建筑工程智能化水平,开展基于数据融合与状态感知的建筑智能建造研究。本文分析了多源异构数据的融合技术,提出基于深度学习和证据理论的混合决策融合框架。针对施工设备的状态监测,采用多传感器协同感知与残差网络诊断模型,实现设备健康状态的实时评估。针对环境安全的态势感知,建立动态风险场模型,结合BIM与物联网数据实现危险预警。在新型无人化数字施工方面,探讨智能砌筑的机器人路径规划与无人化土方工程的多机协同控制策略。实验验证与案例分析表明,所提方法能够有效提升施工过程的自动化水平与安全性,为智能建造的落地应用提供了可行的技术路径。

【关键词】数据融合;建筑;建造;智能;状态感知

中图分类号: TU71

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2026.06.039

Research on Building Intelligent Construction Based on Data Fusion and State Perception

HAN Guang-yi

(Yantai Zhongbo Enterprise Management Consulting Co., Ltd.)

【Abstract】In order to enhance the intelligence level of construction engineering, research on intelligent construction of building based on data fusion and state perception is conducted. This paper analyzes the fusion technology of multi-source heterogeneous data and proposes a hybrid decision fusion framework based on deep learning and evidence theory. For the monitoring of construction equipment status, a multi-sensor collaborative perception and residual network diagnostic model are adopted to achieve real-time evaluation of equipment health status. For the situation awareness of environmental safety, a dynamic risk field model is established, and combined with BIM and IoT data, hazard warnings are realized. In the field of new unmanned digital construction, the paper explores the robot path planning for intelligent masonry and the multi machine collaborative control strategy for unmanned earthwork engineering. Experimental verification and case analysis show that the proposed method can effectively improve the automation and safety of the construction process, providing a feasible technical path for the practical application of intelligent construction.

【Keywords】data fusion; architecture; construction; intelligence; state awareness

1 引言

在国内城镇化建设高质量推进的背景下,城乡建设格局持续优化,同时也对建筑行业绿色化、智能化升级提出了更高标准。建筑业作为支撑区域经济发展的核心产业,正处于转型升级的关键阶段,亟需突破传统施工模式效能偏低、智能化应用不足的发展瓶颈。在智慧施工领域,众多学者的研究成果,为建筑业数字化转型、智慧化升级提供了坚实的理论与实践借鉴。丁东山等^[1]将BIM技术应用于装配式建筑,搭建标准化构件家族数据库与二维码溯源体系,实现构件制造、运输、安装全流程可视化管控,显著提升建筑施工效率与工程建设品质。刘新钊等^[2]研发少支点智能施工装备,突破超高层建筑施工关键技术难题,通过少支点智能施工数值模拟分析,为

工程装备优化迭代与工程应用提供了可靠理论依据。刘美霞等^[3]以新发大厦为工程载体,搭建BIM智能管理平台,实现超高层施工全要素、全流程协同管控。为进一步丰富、完善现有智能建造研究体系,深化工程落地应用成果,本文以实际建筑工程为依托,基于数据融合与状态感知技术,开展智能建造技术的实践应用与优化探索。

2 工程现场物联网数据采集体系

通信层面依托5G网络,采用Android、iOS等终端平台通用的通信协议,实现各类终端设备的无缝互联。在数据上传与整合环节,采用适配5G网络的高效软件分发系统,支持作业人员多场景实时采集、传输现场数据^[4]。图1为建筑工程施工现场物联网数据采集体系。

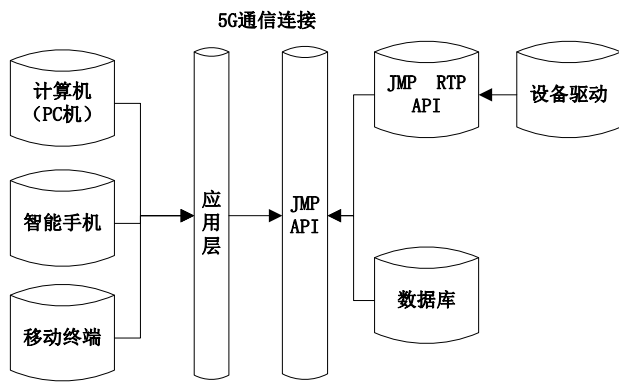


图1 建筑工程现场物联网数据采集体系架构

通过上述方式,实现现场施工中移动数据的采集与集成管理。

3 多源数据融合方法

空间数据处理层面,通过特征点匹配、坐标变换等技术手段统一空间基准,实现多源空间数据配准融合^[5-6]。针对施工现场的复杂情况,提出一种基于中值滤波的信号降噪方法,该方法能有效抑制冲击、随机噪声等干扰。设原始数据为 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,采用滑动窗口均值滤波进行对数据的平滑处理:

$$\hat{x}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=i-k/2}^{i+k/2} x_j \quad (1)$$

式(1)中: $\hat{x}_i$ 代表第*i*个数据点经过平滑处理后的输出值, k 代表窗口大小, x_j 代表窗口内第*j*个原始数据点的值。

特征提取环节依托深度学习技术构建多尺度特征融合网络,引入注意力机制对多模块输出结果进行权重自适应融合,输出统一的全局特征表征^[7]。

4 实时状态感知技术

4.1 施工设备状态监测

本文采用小波包分析方法,对施工装备关键部件开展2000 Hz高频采样与频域特性分析,提取各频带能量特征,实现32维设备故障特征辨识^[8]。结合分布式光纤传感技术,以5cm空间分辨率完成被测结构表面温度场连续监测。依托物联网传感数据,构建设备健康度评估模型,公式如下:

$$f(x) = \text{sgn} \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i K(x_i, x) + b \right) \quad (2)$$

式(2)中: $f(x)$ 代表设备健康度评估模型函数, $K(x_i, x)$ 代表核函数,本文中选用RBF作为核函数, α_i 代表拉格朗日乘子, y_i 代表类别标签, b 为模型偏置

项。在此基础上,提出一种基于深度残差网络的设备故障诊断方法,该方法利用跨层连通结构,有效解决了深度神经网络的梯度丢失问题。

4.2 环境安全态势感知

建立既有静态危险因子,又有动态危险因子的环境风险定量模型。静态方面,如深基坑、临边防护等,采用BIM模型进行预标定;动态因子主要是指设备的运动轨迹和人员活动范围等。风险值计算采用模糊逻辑方法,将各类风险因素量化为0-1之间的隶属度,通过加权聚合得到综合风险指数。一旦危险度超出临界值,就会发出声光警报,并向有关人员推送警报。设危险源为 H ,安全距离为 D ,风险等级 R 的计算公式可表示为:

$$R = \begin{cases} 1 & P_{worker} - P_H \leq D \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中: P_{worker} 代表人员位置, P_H 代表危险源位置。

5 新型无人化数字施工

5.1 智能砌筑

施工前将BIM模型中的砌体规格、砌筑坐标、施工用量等工程信息解析为机器人可执行控制指令。通过优化AprilTag视觉定位算法,实现复杂施工现场的高精度定位适配。图2为砌筑机器人现场施工工况。



图2 砌筑机器人

结合机器人施工工序、运动学特性与避障需求,构建适配砌筑作业的机器人轨迹规划方法。基于RRT*算法引入启发式采样策略,优化路径搜索机制,有效缩短轨迹规划耗时,提升作业效率。

5.2 无人化土方工程操作

系统实时联动 BIM 模型,自动核算土方开挖工程量并规划最优物料输送路径。无人化土方作业阶段,通过无人机测绘构建高精度点云模型,与 BIM 模型比对分析,精准计算场地挖填方量。针对无人挖掘机,采用强化学习(RL)算法实现智能作业控制,核心 Q 值迭代更新公式如下:

$$Q(s,a) \leftarrow Q(s,a) + \alpha [r + \gamma \max_{a'} Q(s',a') - Q(s,a)] \tag{4}$$

式(4)中: $Q(s,a)$ 代表在状态 s 下执行动作 a 后,预期获得的长期累积回报; r 代表在状态 s 执行动作 a 后,环境反馈的单步奖励值; α 代表学习率, γ 代表折扣因子, $\max_{a'} Q(s',a')$ 代表新状态下所有可能动作对应最大 Q 值。

采用分层架构的智能挖掘控制系统。其上层模块为基于模型预测控制(MPC)理论,以能耗最小化为优化目标,生成最优作业轨迹,下层执行模块采用模糊PID控制器,实现铲斗轨迹的精确跟踪。

6 实验验证与案例分析

6.1 项目实例

为验证本文所提方法的准确性与可靠性,选取某大型商业、办公、住宅综合体项目为试点工程。项目包含地上30层、地下3层,总占地面积约12万m²。

6.2 施工状态感知时效性检验

试验针对施工现场构件失效、结构变形超限等典型工况开展仿真测试,实时采集工况动态变化数据并统计分析,试验结果如图3所示。

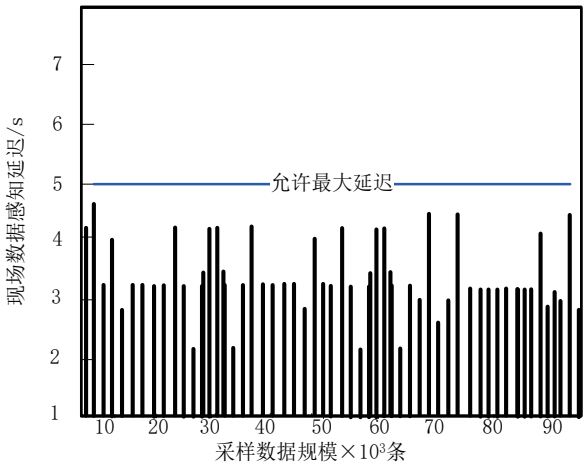


图3 施工状态感知时效检验

由图3试验结果可知,本文方法可有效缩短施工状态感知间隔,实现现场异常工况的快速响应处置,保障建筑施工的规范性与科学性。

7 结语

为满足建筑智能建造需求和深化工程智能化建设,本文基于数据融合与状态感知技术的应用,以某建筑工程作为实例,制定了相关的设计方案。依据方案,通过实践方式对施工状态感知的时效性进行检验,检验结果表明达到预期效果,提高现场工况的快速感知,确保工程决策的合理性与及时性。

参考文献

[1] 丁东山, 卢皓. BIM技术在装配式建筑智能建造中的应用研究[J]. 建筑经济, 2023, 44 (S01): 293-296.
[2] 刘新钊, 曾凡奎, 张健华. 超高层建筑智能建造机关键系统设计与仿真分析[J]. 西安工业大学学报, 2023, 43 (1): 23-31.
[3] 刘美霞, 卞光华, 陈伟, 等. 超高层公共建筑智能建造技术体系探索实践[J]. 建筑结构, 2023, 53 (10): 10-14.
[4] 倪子渊, 景玉文, 司丽媛. 基于BIM技术的装配式建筑智能建造技术研究[J]. 智能建筑与工程机械, 2024, 6 (3): 34-36.
[5] 贾明, 张德洋, 李政依, 等. 智能建造背景下BIM在建筑工程领域的研究进展[J]. 土木工程, 2025, 14 (3): 570-577.
[6] 张春巍, 鲍德仁, 孙丽. 智能建造技术的研究与应用展望[J]. 沈阳工业大学学报, 2024, 46 (5): 722-734.
[7] 谭琦. BIM技术在大型钢结构建筑智能建造中的应用[J]. 智能建筑与工程机械, 2024, 6 (1): 17-19.
[8] 张颖. 探析BIM技术在装配式建筑智能建造施工阶段中的应用[J]. 居业, 2025 (1): 125-127.