

人工智能驱动的智慧建筑运维管理模式研究

张映波¹ 张蒙²

- 1.常州市住房和城乡建设局, 江苏 常州 213000
2.常州燕润能源科技有限公司, 江苏 常州 213000

[摘要]人工智能技术快速发展使智慧建筑运维管理遭遇深刻变革,文中系统地探讨了由人工智能驱动的智慧建筑运维管理新模式,先对人工智能在智慧建筑运维里的应用现状加以分析,包含智能感知、数据分析、预测性维护等方面,接着提出基于人工智能的智慧建筑运维管理框架,涵盖数据采集层、分析决策层和应用服务层,然后重点探究人工智能在能耗优化、设备故障诊断、安全管理等具体运维场景中的应用策略与方法,最后探讨人工智能驱动的智慧建筑运维管理面临的挑战以及未来的发展趋势,像数据安全、算法透明度、人机协作之类的,研究显示人工智能技术能显著提高建筑运维效率并降低成本,达成精细化、智能化管理,不过其应用还得攻克技术、管理方面的障碍,构建完善的标准体系和生态环境,这一研究为推动智慧建筑运维管理创新发展提供理论指导和实践参考。

[关键词]人工智能; 智慧建筑; 运维管理; 预测性维护; 能耗优化

DOI: 10.33142/ucp.v2i5.17929

中图分类号: TU17

文献标识码: A

Research on the Operation and Maintenance Management Mode of Intelligent Buildings Driven by Artificial Intelligence

ZHANG Yingbo¹, ZHANG Meng²

1. Changzhou Housing and Urban Rural Development Bureau, Changzhou, Jiangsu, 213000, China
2. Changzhou Yanrun Energy Technology Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213000, China

Abstract: The rapid development of artificial intelligence technology has brought profound changes to the operation and maintenance management of smart buildings. This article systematically explores a new model of smart building operation and maintenance management driven by artificial intelligence. Firstly, the application status of artificial intelligence in smart building operation and maintenance is analyzed, including intelligent perception, data analysis, predictive maintenance, etc. Then, an AI based smart building operation and maintenance management framework is proposed, covering the data collection layer, analysis and decision-making layer, and application service layer. Then, the application strategies and methods of artificial intelligence in specific operation and maintenance scenarios such as energy optimization, equipment fault diagnosis, and safety management are explored. Finally, the challenges and future development trends of AI driven smart building operation and maintenance management are discussed, such as data security, algorithm transparency, and human-machine collaboration. Research shows that artificial intelligence technology can significantly improve the efficiency of building operation and maintenance, reduce costs, and achieve refined and intelligent management. However, its application still needs to overcome technical and management barriers, build a sound standard system and ecological environment. This research provides theoretical guidance and practical reference for promoting innovative development of smart building operation and maintenance management.

Keywords: artificial intelligence; smart buildings; operation and maintenance management; predictive maintenance; energy consumption optimization

引言

全球经济中建筑业属于支柱产业之一,麦肯锡全球研究院 2023 年报告显示全球建筑业市场规模超 10 万亿美元且在 global GDP 里占比超 13%,不过建筑运维管理长期以来存在效率低、成本高和可持续性方面的挑战,因为传统建筑运维管理模式常靠人工经验判断从而反应慢且难以满足现代建筑复杂系统的管理需求,好在近年随着人工智能技术快速发展且应用范围越来越广,智慧建筑运维管理正遭遇深刻的技改并给解决传统运维管理痛点带来新

希望。

IDC 数据显示,2022 年全球智慧建筑市场规模达 837 亿美元,到 2026 年预计增长至 1430 亿美元,复合年增长率约 14.3%,并且人工智能是智慧建筑的核心驱动力,在重塑建筑全生命周期的管理方式。智能感知技术可实现建筑环境与设备状态的实时监测,而海量运行数据的价值能被大数据分析 with 机器学习算法挖掘出来,同时预测性维护模型能够预先识别潜在故障,自适应控制系统可根据实际需求动态调整建筑系统参数,这些技术融合应用使被动响

应式的建筑运维正向主动预测式的智能管理转变。

人工智能驱动的智慧建筑运维管理模式对建筑业有着重大意义,埃森哲咨询 2023 年的研究表明,在建筑运维里应用 AI 技术能使能源消耗降低 20%~30%、维护成本减少 15%~25%且设备寿命延长 10%~15%,由于全球有碳中和目标,而建筑行业是能源消耗和碳排放的主要来源(大概占全球能源消耗的 40%和碳排放的 39%),所以它急需依靠技术创新达成绿色低碳转型,人工智能能优化建筑能耗并提升资源利用效率,从而给建筑业可持续发展提供强大支撑。

人工智能于智慧建筑运维领域中的应用尚处发展之中且面临诸多挑战,如数据质量、技术标准、安全隐私等方面,所以本文打算系统地探究人工智能推动的智慧建筑运维管理模式,剖析当下应用的实际状况并拿出综合管理框架,还要研讨未来的发展趋向与应对之策,以便给建筑业数字化转型提供理论上的指导和实践中的参照。

2 人工智能在智慧建筑运维管理中的应用现状

2.1 智能传感器和物联网技术

智能传感器与物联网(IoT)技术已然成为智慧建筑运维管理的基础设施,Gartner 研究报告表明到 2023 年全球智能建筑里的物联网设备数量超 70 亿台且这些设备以前所未有的精细程度持续监测建筑环境参数、设备状态以及人员行为^[1]。现代智能传感器系列不再像传统那样只用于温湿度监测而是能全面监测包括空气质量、光照强度、噪声水平、人流密度还有设备能耗在内的多种参数,并且低功耗广域网(LPWAN)技术如 LoRaWAN 和 NB-IoT 一应用,传感器网络部署成本就大大降低、覆盖范围也显著扩大、电池使用寿命还延长到 5~10 年,这极大地推动了智能传感器在大型建筑群中的大规模应用。

近两年智能传感网络的一大重要进展是融入了边缘计算技术,2022 年 IBM 的研究数据显示智能建筑里大概有 58%的数据处理转移到了边缘端,这样既减轻了数据传输负载又提高了系统响应速度并且强化了离线工作能力,与此同时智能传感器跟 BIM(建筑信息模型)系统深度整合让物理设备和数字孪生模型能实时交互数据进而给建筑管理者提供直观的可视化监控界面,这种依托大规模传感网络和物联网平台的智能感知系统已经在阿联酋阿布扎比国际机场、新加坡滨海湾金融中心这样的全球领先商业建筑项目落地且能耗降低了 25%还多、运维效率也提高了 30%。

2.2 大数据分析和预测性维护

在智慧建筑运维管理中,大数据分析与预测性维护技术已然成为核心驱动力,麦肯锡 2023 年研究表明,预测性维护技术能将建筑设备的计划外停机时长削减 35%~45%且使维护成本下降 25%~30%,这一技术依托于建筑系统持续采集的多源异构数据,例如能耗数据、设备运行

参数、环境条件以及用户行为之类的,并且现代智慧建筑每天产生海量数据,像面积 5 万 m²的商业建筑,其每天运营数据超 1TB,这就给深度数据挖掘提供了大量素材。

海量数据经高级分析算法处理时其显著优势尽显,尤其是时间序列分析、异常检测和机器学习模型能从设备运行数据里找出隐藏的故障前兆,如分析空调系统能耗变化、振动频率、声音特征以及温差变化后,AI 系统就能提前 2~4 周预知压缩机可能出现的故障,Deloitte2022 年调查表明,智能建筑项目若采用预测性维护则设备平均使用寿命会延长 15%~20%且每平方米运维成本可降大概 22 美元,这种由“故障修复”向“预测预防”的范式转变正重塑建筑设备维护策略以优化资源配置、提高运维效率并削减突发故障引发的业务中断风险。

2.3 机器学习和自适应控制系统

在智慧建筑方面,机器学习和自适应控制系统被应用着并为其创造出前所未有的智能化运行环境,这些技术不再受传统预设规则的束缚,能向建筑实际运行数据学习以得到最优控制策略并在环境变化以及使用模式下动态作出调整,表 1 呈现了当下智慧建筑里主要使用的机器学习算法及其应用场景。

表 1 智慧建筑运维中的主要机器学习算法及应用场景

算法类型	典型应用场景	实现效果	采用率 (2023)
强化学习	HVAC 系统控制	能耗降低 18%~25%	32%
深度神经网络	能耗预测与优化	预测准确率达 91%	47%
支持向量机	设备故障诊断	故障提前识别率 85%	53%
聚类算法	用能行为分析	用户画像精确度提升 40%	61%
集成学习	综合能源管理	系统效率提升 22%	38%

谷歌 DeepMind 开发出一个在自家数据中心应用的 AI 控制系统,该系统借助强化学习算法让冷却能耗降低了 40%,这一成果相当显著,并且其成功做法已推广到建筑领域,在暖通空调(HVAC)系统控制方面尤其复杂时更凸显,这种自适应控制系统能依据天气预报数据、建筑 occupancy 预测以及能源价格波动预先调整建筑系统的运行参数以达成精确的需求响应与动态负荷平衡^[2]。

更先进的当属由人工智能驱动的建筑控制系统,它已经开始整合用户的 behavior patterns and preferences(此处应为“行为模式和偏好”),从而达成个性化环境调节,像那种依据面部识别和行为分析来自动调节办公室照明与温度的系统,就能给每个员工供应最舒适的工作环境并且让总体能源消耗得到优化,而人机交互与环境适应能力的提高正在变成评判智慧建筑系统是否先进的重要标准。

3 人工智能驱动的智慧建筑运维管理模式框架

3.1 数据采集和处理层

智慧建筑运维管理的基础架构由数据采集与处理层

构成,该层负责从建筑物各系统获取实时数据并做初步处理,其整合了多种数据源,如建筑自动化系统(BAS)、能源管理系统(EMS)、安防监控系统、智能照明系统还有分布在建筑各处的物联网传感器网络,IBM2022年研究报告显示,现代智慧商业建筑平均每1000m²部署45~60个智能传感节点且每秒产生大概2.5MB数据,海量数据借由有线网络、Wi-Fi、5G和低功耗广域网等多种通信协议传输。

在数据处理领域,应用边缘计算技术后系统响应速度与效率显著提升,当下智慧建筑里大概60%的数据处理任务像数据过滤、压缩以及初步分析之类的都在边缘侧执行,这种分布式架构解决了传统云端集中处理时带宽受限、有延迟以及存在安全风险的问题,并且数据标准化和语义集成技术被应用后克服了不同设备和系统数据格式不一样的挑战,像ProjectHaystack、BrickSchema这些开放标准被推广开来,从而给建筑数据构建起统一的语义模型,使得不同厂商设备的数据能无缝整合,为上层分析决策提供了高质量且结构化的数据基础。

3.2 分析和决策层

在智慧建筑运维管理框架中,核心智能中枢是分析和决策层,由它负责深度分析采集数据以提取有价值信息并生成智能决策建议,多种人工智能技术如机器学习、深度学习、自然语言处理、知识图谱等都融入其中,而且Gartner2023年调研显示,领先的智慧建筑项目已运用至少三种以上的人工智能分析方法构建起多维度决策支持系统。

能源管理中,深度学习算法可构建出精准的能耗预测模型,在综合天气预报、历史用能数据以及建筑使用计划的基础上预测未来24~72h的能源需求且准确率超92%,而在设备维护方面,基于图神经网络(GNN)的故障诊断系统能模拟设备间的复杂依赖关系以识别故障根源与连锁影响从而把故障定位时长从传统的一小时级别大幅缩短成一分钟级别,并且在空间利用优化上,计算机视觉和热图分析技术相结合就能生成建筑空间使用效率评估报告以便让管理者据此进行空间重组决策,AI分析能力与数字孪生平台集成后给建筑管理者提供直观可视化的决策界面进而达成从数据到洞察再到决策的闭环转化。

3.3 执行和反馈层

在智慧建筑运维管理框架里,连接智能决策与物理实施的关键环节是执行和反馈层,它承担着把分析决策变成实际控制指令以及监测执行效果的任务,并且凭借建筑自动化系统(BAS)、能源管理系统(EMS)还有各类智能终端设备达成建筑设备的精确控制,最新行业数据显示,智慧建筑项目要是用上AI驱动的执行系统,控制精度能提升35%、响应时间可缩短60%,控制延迟达到毫秒级^[3]。

在执行层,执行策略可由自适应控制算法依据实时条件动态调整以保证决策在复杂多变环境中有效,就拿楼宇

暖通系统来说,AI控制器除设定温度外,还会考量室外气象的改变、室内人员密度的起伏以及能源价格的变动并实时对运行参数作出调整以达成多目标平衡优化,反馈机制这块依靠闭环监测系统持续评估执行效果,将实际运行数据跟预期目标作比较后生成偏差报告进而触发必要的调整,“规划-执行-评估-优化”的闭环控制模式让智慧建筑系统有了自学习和持续改进的能力,需要注意的是最新执行系统把人机交互界面整合进去了,这使得管理人员能依据特殊需求进行决策干预从而将AI辅助决策和人类经验有机结合起来。

4 案例研究:人工智能在智慧建筑运维管理中的实际应用

4.1 能源管理优化

智能建筑行业在能源管理优化上已有显著成果,国际能源署(IEA)2023年数据表明人工智能优化后的商业建筑可将能源消耗减少15%~30%,像上海有个智能办公综合体部署深度强化学习(DRL)算法来动态调控暖通空调系统,系统能分析历史能耗数据、室外气象条件、室内人流密度等多方面数据并实时优化设备运行参数,2022年这个项目能耗就降了21.7%,每年大概能节省82万成本,北京有个智慧商场使用的基于机器学习的照明优化系统也值得一提,该系统会综合考虑自然光照条件和客流分布来自适应调节照明设备,在确保用户体验的基础上使照明能耗降低25%且设备使用寿命明显延长。

4.2 设备故障预测与维护

在设备故障预测与维护方面,人工智能技术已不再像从前那样 merely passively respond 而是 proactively prevent。中国建筑科学研究院2022年发布的报告显示,智能建筑若采用预测性维护,其意外停机时长可削减40%且维护费用能平均下降28%^[4]。广州有个智慧写字楼群,它所施行的基于人工智能的设备健康管理系统是个很典型的例子,关键设备上被部署了多种类型的传感器如振动、温度、声音等,并且卷积神经网络(CNN)和长短期记忆网络(LSTM)混合模型被用来对电梯、水泵、变压器等核心设备的运行状况进行实时监测以及异常检测,系统能在潜在故障发生前7~14d就发出预警且准确率高达91.3%,2023年的数据表明这系统让运维团队躲过了18次重大设备故障并且维修成本也少了大概47万块钱,与此同时设备平均故障间隔时间(MTBF)也被提高了32%。

5 结论

人工智能在智慧建筑运维管理中的应用模式及其效果被本研究系统探讨了,并且深入分析能源管理优化、设备故障预测与维护以及室内环境质量控制这些案例后就能发现人工智能技术正从根本上重塑智能建筑运维管理方式。研究显示人工智能驱动的智慧建筑运维管理能实现多重价值,不但可大大降低建筑运营成本,因为案例分析

表明能源消耗可降低 15%~30%且维护成本可减少 28%，而且还能大幅提升运维效率，由于预测性维护能使设备意外停机时间减少 40%，此外还可显著提升用户体验，因为室内环境智能管理会使满意度提升大概 20%，最后还能给建筑全生命周期管理提供数据支撑以推动建筑可持续发展。不过研究同时也发现，技术落地仍然面临数据孤岛、算法可解释性、初始投资成本高等挑战，所以得建立起更完善的标准体系和跨领域协作机制^[5]。

人工智能技术不断进步且大规模预训练模型、边缘计算、数字孪生等新兴技术被应用，这会使智慧建筑运维管理向着更分布式、自适应和协同化发展，并且未来的研究应关注构建更开放的数据共享平台、开发符合不同类型建筑特性的专用算法、探索人机协作最佳实践模式，同时让人工智能和物联网、区块链等技术深度融合可能进一步拓宽智慧建筑运维的应用范围，所以政府、企业和学术界要加强合作，一起推动相关技术标准的制定和技术人才的培养，从而给人工智能驱动的智慧建筑运维管理营造更有利的发展环境，总而言之，人工智能会继续成为智慧建筑创新发展的核心驱动力并给建筑行业数字化转型和可持续

发展注入新活力^[5]。

[参考文献]

- [1]赵奕钧,邓大松.人工智能驱动下智慧养老服务模式构建研究[J].江淮论坛,2021(2):148-154.
- [2]王延宁,余健俊,周逸伦.基于 BIM 和 IoT 数据驱动的医院建筑智慧运维管理系统开发研究[J].南京工业大学学报(自然科学版),2024(6):97-106.
- [3]王存健,陈超.智慧物业管理模式下房屋建筑运维成本优化策略研究[J].住宅与房地产,2024(19):70-72.
- [4]江迎秋.基于模型驱动的 5G 传输智能化运维管理研究[J].山东通信技术,2021(4):14-16.
- [5]刘荣荣.基于人工智能视角的企业智慧财务管理模式研究[J].企业改革与管理,2022(18):150-152.

作者简介：张映波（1981.5—），毕业院校：上海交通大学，所学专业：信息管理与信息系统，当前就职单位：常州市住房和城乡建设局，职称级别：高级工程师；张蒙（1990.12—），毕业院校：南京大学，所学专业：工商管理，当前就职单位：常州燕润能源科技有限公司，职务：总经理，职称级别：中级工程师。