

基于人工智能与大数据的智慧照明技术

王海波

浙江凯耀照明有限责任公司 浙江 嘉兴 314400

摘要: 在低碳发展与智慧城市建设的双重驱动下,传统照明系统已难以满足多元化需求,智慧照明成为行业转型升级的核心方向。人工智能与大数据技术的深度融合,为智慧照明突破技术瓶颈提供了关键支撑。本文梳理智慧照明技术体系、核心特征及系统架构,剖析人工智能与大数据的融合机理及应用路径,结合道路、室内、景观等场景阐述差异化技术实践,分析当前技术困境,并展望未来发展方向。

关键词: 智慧照明;人工智能;大数据分析

引言:随着城市化进程加快与能源节约战略推进,传统照明高能耗、控制粗放、适配性差的弊端日益凸显,难以适配智慧城市、智能建筑的发展需求。智慧照明依托现代信息技术,实现照明系统的智能化调控、能耗优化与个性化服务,是照明行业转型的必然选择。大数据可精准采集挖掘照明场景多维度数据,人工智能能实现场景识别、自适应调节等智能功能,二者深度融合是破解智慧照明技术瓶颈的关键。本文系统探讨相关技术应用与实践,梳理困境、展望趋势,为学术研究与工程实践提供参考。

1 文献综述

智慧照明的研究演进大致遵循三条主线:控制策略的智能化、数据驱动的精细化、以及多系统协同的生态化。(1)控制策略的智能化演进:早期研究集中于定时控制、光控开关等简单自动化技术。随后,研究重点转向基于模糊逻辑、PID控制等经典控制理论的自适应调节,以应对环境变化的不确定性。近年来,随着算力提升,强化学习(Reinforcement Learning)和深度神经网络(DNN)成为研究热点。例如,DeepMind应用于数据中心冷却的深度强化学习算法激发了照明领域对长期能耗优化策略的探索,但与照明物理场景的结合仍是挑战^[1]。(2)数据驱动的精细化运维:大数据技术的引入使研究从“控制”扩展到“管理与服务”。然而,当前前沿研究更关注高维异构数据的融合挖掘,例如,将社交媒体数据、城市事件日历与实时传感器数据结合,以预测公共空间的照明需求峰值(Smith et al., 2023)。同时,基于时间序列分析的设备故障预测(如使用LSTM模型)正从理论走向实践,但数据质量与标注成本仍是瓶颈。(3)多系统协同的生态化融合:智慧照明作为智慧城市神经末梢的观点已成共识。最新研究开始探讨其与数字孪生(Digital Twin)的深度融合。通过构建照明系统的虚拟映

射,可以在投入实际部署前对控制策略进行仿真与验证(Li et al., 2024)。此外,照明系统作为分布式能源网络节点的潜力也被挖掘,即“车-路-光-储”协同的概念(如Vehicle-to-Grid技术启发下的类似模式),但这依赖于跨行业的标准化协议,目前仍处于概念阶段。

2 人工智能与大数据的融合机理及应用路径

2.1 融合核心逻辑与技术瓶颈

人工智能与大数据在智慧照明中的融合,核心是构建“数据-模型-决策-反馈”闭环机制,协同释放数据价值与算法能力。然而,现实中存在诸多技术瓶颈:(1)数据层面:智慧照明数据多模态、异步且高维,直接输入模型会引发“维度灾难”,多模态数据融合是关键前置技术,如将图像与光照度在时间戳对齐后进行特征级融合,需设计特定编码器网络。(2)模型层面:概念漂移是模型失效主因,如基于夏季数据训练的模型在冬季可能表现不佳,闭环系统需具备在线学习或增量学习能力,但这会带来模型稳定性与可塑性矛盾及巨大计算开销。(3)算力分配层面:全部数据传至云端处理延迟高,边云协同架构很重要,要明确轻量级模型在边缘端实时执行,复杂模型在云端非实时训练优化,本质是延迟、精度与成本的权衡。

大数据技术为融合提供基础支撑,经采集、预处理构建高质量数据集,挖掘关联规律为AI算法提供输入;AI算法构建模型生成决策,反馈效果驱动数据更新与模型优化,打破数据与算法割裂,推动智慧照明向主动服务与系统优化升级。

2.2 大数据在智慧照明中的应用路径

大数据在智慧照明中的应用,主要围绕数据采集、处理与需求挖掘展开。数据采集采用“全域覆盖+精准聚焦”模式,根据场景特性部署多种传感器,全面采集环境、人员、设备等多维度数据,同时遵循“最小必要”

原则，避免无关数据过度采集，减轻后续处理负担。数据处理借助分布式处理框架，运用数据清洗、去重、转换、整合等技术，剔除异常值、冗余信息，消除格式差异，提升数据质量。之后利用聚类分析、关联规则挖掘、时序分析等算法挖掘数据潜在规律，如不同时段与区域的照明需求差异等^[2]。需求挖掘基于挖掘结果，精准识别需求，通过分析实时数据判断当前场景照明状态与需求缺口，为即时控制提供依据；通过趋势预测分析历史数据，助力提前优化控制策略；通过个性化适配分析用户行为数据，实现定制化服务。

2.3 人工智能在智慧照明中的应用路径

人工智能在智慧照明中主要应用于场景识别、控制优化与运维管理三大场景。场景识别是智能化控制的基础，借助图像识别、目标检测等算法，自动识别照明场景类型、环境状态及目标存在情况，为调节照明参数提供依据。其中，卷积神经网络（CNN）识别准确率高，但计算复杂、硬件要求高；传统机器学习算法（如支持向量机、决策树）计算量小、硬件依赖低，但识别精度受特征工程影响，适用于简单场景。控制优化是核心价值所在，采用强化学习、模糊控制、神经网络等算法优化控制策略，强化学习适用于动态复杂场景，模糊控制适用于参数难精确建模场景，神经网络适用于能耗优化等多目标决策场景。运维管理则通过异常检测、故障诊断等算法分析设备运行数据，提前预警潜在故障风险，降低成本，保障系统稳定运行。

3 不同应用场景的差异化技术实践

3.1 道路照明：安全优先下的节能协同

数据采集面临挑战，部署了光照度传感器（精度 ± 5 lux）、热成像与雷达车辆检测器（检测率 $> 98\%$ ）。但雨雾天气时，光学传感器易受干扰，此时雷达数据成为关键，凸显多传感器冗余设计的重要性。AI控制有两种实践方案。方案A采用目标检测，将轻量化YOLOv5模型部署在边缘计算网关（算力约5 TOPS），100ms内可识别响应，使道路平均照度维持在15 - 30 lux，车流量低谷时段较传统定时开关节能约40%。方案B运用强化学习，在区域服务器训练DRL模型，综合考虑多种因素实现长期节能优化，仿真显示能再提升5 - 8%能效，但对模型训练和数据连续性要求高。系统协同方面，与交通信号系统联动，红灯时提前增强排队车辆区域照明，试点项目数据显示，此举可降低约15%的夜间追尾事故风险。

3.2 室内照明：体验导向下的个性化适配

室内照明包含办公、商场、住宅等场景，以满足用户视觉舒适度、个性化需求及优化能耗为核心，秉持“体

验优先、个性定制、场景适配”原则。办公场景部署光照、人体存在传感器，用模糊控制算法动态调节亮度与色温，结合工作习惯优化策略，适配不同时段需求。实测表明，较传统恒亮照明节能超35%，员工视觉舒适度评分提升28%。商场场景分析用户流动轨迹与消费行为数据，优化照明布局与亮度，客流低谷时降低非核心区域亮度节能^[3]。商场试点后，照明能耗降32%，重点区域商品关注度升19%。住宅场景分析用户照明偏好，提供定制化模式，可通过多种方式调节参数，还能联动智能家居系统，提升居住体验，适配个性化模式后用户满意度达91%。

3.3 景观照明：艺术呈现下的动态演绎

景观照明旨在通过艺术化照明提升城市形象与文化氛围，兼顾能耗控制与运维效率，围绕“艺术表达、动态联动、低碳运行”开展技术实践。数据采集收集环境光照、季节、节日、游客流量等数据，为优化照明效果提供依据。人工智能应用上，用生成对抗网络等算法，依节日、季节特征生成个性化方案，结合游客流量调整亮度与展示模式，某城市试点后，节日能耗降27%，游客好评率达88%。系统协同联动音乐、喷泉、安防等系统，打造沉浸式体验，结合文旅规划实现区域协同演绎。能耗与运维方面，通过大数据分析优化方案，选用低功耗设备与节能策略，用故障诊断算法实时监测设备，提前预警故障，试点后设备故障率降40%，维护成本降35%。

4 技术应用困境与未来发展方向

4.1 当前技术困境

4.1.1 数据质量与算法适配性矛盾

数据质量直接影响智慧照明系统性能，实际应用中，受传感器部署不规范、环境干扰、设备老化等影响，采集数据存在缺失、误差、冗余等问题，质量参差不齐。为保障算法效果，需投入大量人力物力进行数据清洗校验，增加系统建设与运行成本。同时，复杂AI算法控制精度高但硬件要求高，难以适配低成本终端；简单算法硬件依赖低但控制效果有限，无法满足复杂场景需求，算法性能与硬件成本的平衡成为推广核心难题。

4.1.2 技术融合深度与系统兼容性不足

当前智慧照明多技术融合流于表面，大数据与AI交互多为单向流程，缺乏决策反馈、数据更新与模型迭代的闭环机制，未能发挥协同价值。系统兼容性突出不足，不同厂商设备、传感器及控制平台采用独立标准与协议，难以互联互通、协同控制，增加集成与升级成本。行业缺乏统一标准，严重制约智慧照明技术规模化、规范化发展及多系统协同效率。

4.1.3 成本控制与落地可行性制约

智慧照明系统建设成本较高,涵盖软硬件采购、系统集成及后期运维等费用,限制其在中小城市、普通建筑等场景的推广。部分技术落地可行性不足,复杂AI模型训练需大量高成本标注数据,传感器在复杂场景中识别精度受限,极端天气、网络中断等突发情况还会导致系统运行不稳定,影响用户体验与服务质量。

4.1.4 数据隐私与算法公平的伦理挑战

智慧照明的无感数据采集能力是一把双刃剑。隐私泄露风险:室内和公共空间的照明系统持续采集的人员移动轨迹、行为习惯数据,若未经过严格的匿名化、脱敏处理,存在被滥用或泄露的风险,可能违反如GDPR、《个人信息保护法》等法规。必须探讨“数据可用不可见”的技术(如联邦学习)在照明系统中的适用性。算法公平性(Algorithmic Fairness):控制算法可能加剧社会不公。例如,为节能而实施的“按需照明”,是否会因算法偏见,导致人流量较少的低收入社区或偏远街道照明水平长期过低,从而带来安全隐患?模型的决策逻辑需要可解释,并接受公平性审计。

4.2 未来发展方向

4.2.1 技术融合深化:构建闭环智能生态

未来智慧照明将强化人工智能与大数据深度融合,构建“数据采集-分析挖掘-智能决策-执行反馈-模型迭代”闭环生态,以数据反馈优化算法模型,提升系统自学习与自适应能力^[4]。同时,推动与5G、区块链、数字孪生等新技术融合。数字孪生可构建照明场景虚拟镜像,实现效果模拟与策略预优化;区块链保障数据安全与可信度5G提供高并发、低延迟传输支撑,助力实时控制与多系统协同。

4.2.2 算法与硬件协同优化:降低应用门槛

算法将向轻量化、高效化发展,借助模型压缩等技术降低计算复杂度与硬件需求,结合联邦学习等减少对标注数据依赖,降低训练成本。硬件方面,研发集成感知、计算、通信功能的一体化终端,提升集成度与性价

比;升级传感器技术,提高识别精度等,降低数据采集成本。算法与硬件协同优化,能有效降低智慧照明技术应用门槛,推动其规模化推广。

4.2.3 标准体系完善与场景拓展

相关部门与行业协会将加强协作,加快制定统一的技术、接口与数据标准,规范各环节,提升系统兼容性与互联互通能力,促进行业规范化发展。场景应用将从传统领域向工业、农业、医疗照明等拓展。工业照明精准适配参数保障生产;农业照明智能调节光照促进作物生长;医疗照明协同优化效果与操作,提升诊疗精度与患者舒适度。

4.2.4 构建负责任的智慧照明治理框架

未来技术与治理框架需同步。要建立数据采集与使用伦理规范,明确数据所有权、使用权和隐私边界。推动算法透明性与可解释性(XAI),让决策过程可追溯、可审计。智慧照明部署应进行社会影响评估,确保技术进步惠及所有社群,防止“数字鸿沟”在照明领域出现。

结束语

人工智能与大数据的深度融合,推动智慧照明突破传统控制模式,实现从被动响应到主动服务、从局部优化到系统协同的跨越,在节能降耗、场景适配、运维优化等方面发挥重要作用。当前智慧照明仍面临数据质量、兼容性、成本控制、伦理规范等难题,后续需聚焦技术创新与标准完善,构建完善的治理框架,推动其规模化落地,为智慧城市建设与“双碳”目标实现提供有力支撑。

参考文献

- [1]孙淼.基于人工智能与大数据的智慧照明技术[J].中国照明电器,2025(6):165-167.
- [2]杨婷婷.大数据技术在智慧城市照明建设中的应用研究[J].中国照明电器,2024(2):75-77.
- [3]徐华,王海量,王磊,等.多功能室内智慧照明技术发展与实践探讨[J].智能建筑电气技术,2021,15(2):55-59.
- [4]金玉柱.基于物联网技术的智慧楼宇照明无线智能控制方法[J].光源与照明,2023(2):61-63.