 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i3.5197

Research on the intelligent trend of the next generation of residential landscape terrace design: from automation to AI-driven spatial interaction

Hui Wang Jing Bian Zhiqiang Yang

Xi'an Qujiang Daming Palace Real Estate Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract

In the context of the development of green building and smart city, automation technology has limitations in environmental perception, energy consumption management and user interaction, which is difficult to meet the requirements of personalized needs and efficient space regulation. This study is based on BIM modeling simulation and data driven optimization algorithm and reinforcement learning model, build residential landscape terrace intelligent design technology system, explore the AI in improving energy efficiency and optimize the user experience and enhance the application of system stability, promote the intelligent terrace from passive control to active perception, provide technical support and development direction for the future residential landscape design.

Keywords

intelligent design; residential landscape terrace; artificial intelligence; spatial interaction; BIM modeling

下一代住宅景观露台设计的智能化趋势研究：从自动化到 AI 驱动的空间交互

王卉 卞晶 杨志强

西安曲江大明宫置业有限公司，中国 · 陕西 西安 710000

摘 要

住宅景观露台智能化设计在绿色建筑与智慧城市发展背景下，自动化技术在环境感知和能耗管理以及用户交互方面存在局限，难以满足个性化需求与高效空间调控要求。本研究基于BIM建模仿真和数据驱动优化算法以及强化学习模型，构建住宅景观露台智能化设计技术体系，探索AI在提升能效和优化用户体验以及增强系统稳定性方面的应用，推动智能露台从被动控制向主动感知演进，为未来住宅景观设计提供技术支撑与发展方向。

关键词

智能化设计；住宅景观露台；人工智能；空间交互；BIM建模

1 引言

智慧城市与绿色建筑建设加速的背景下，如何提升露台空间的环境适应性、能耗管理能力及用户交互体验成为研究重点。现有自动化控制系统主要依赖预设规则进行照明和遮阳以及水景调控，缺乏精准感知与动态优化能力，难以满足复杂环境下的自适应需求。本研究围绕住宅景观露台的智能化趋势，分析自动化向 AI 驱动空间交互的演进路径并构建智能化设计技术体系，探索高效和安全以及可持续的智能露台解决方案，为未来住宅景观设计提供技术支撑与发展方向。

【作者简介】王卉（1984–），女，中国陕西人，本科，从事园林景观研究。

2 住宅景观露台智能化设计的发展路径

2.1 从自动化向 AI 驱动的技术演进机制

AI 驱动的环境感知系统采用计算机视觉和深度学习以及传感器融合技术，构建多模态数据采集网络，实现对光照强度和空气质量以及用户行为的精准感知，提高环境调控的实时性与精细度。机器学习算法结合时间序列分析，可预测未来环境变化趋势，并基于历史数据优化控制策略来提高智能露台的能效利用率。计算机视觉技术应用于用户行为分析，利用深度神经网络识别人体动作和活动路径以及交互需求，实现自动调节光照和温湿度以及空气流动等参数，提高空间交互的智能化水平。多传感器融合算法基于卡尔曼滤波和贝叶斯推理等方法，提升环境数据采集的准确性并解决单一传感器误差及数据丢失问题，以此提高系统的鲁棒性。强

化学习技术结合智能代理系统，使露台控制策略可以根据不同场景自动调整控制模式，避免固定规则带来的局限性并提高智能露台的自适应能力。

2.2 AI 驱动的空间交互设计理论基础

空间交互设计基于人工智能技术的深度融合，结合多维信息采集和数据驱动优化以及自适应控制算法，实现人与露台环境的智能协同。计算机视觉在空间交互中的应用主要体现在智能识别与行为感知，使用目标检测和姿态估计以及三维重建技术，分析用户活动模式来实现环境自适应响应。深度神经网络模型可基于用户行为数据训练个性化推荐系统，结合增强现实技术优化露台景观布局来实现沉浸式交互体验。多智能体协同系统基于分布式计算架构，利用强化学习优化控制策略，提高露台空间资源利用效率。自适应调控机制采用动态规划算法，使用实时分析外部环境参数及用户交互行为，调整光照和通风以及水景控制策略来实现露台环境的主动调节。BIM 技术结合人工智能优化建筑信息模型，利用生成对抗网络进行参数优化，而能耗优化算法则采用神经网络与模糊控制相结合的方法，对光照和通风以及水循环进行动态调整，减少能源浪费并提高系统运行效率。

3 AI 驱动的住宅景观露台智能化设计技术体系

3.1 计算机视觉与多传感器融合的环境感知技术

AI 驱动的住宅景观露台智能化设计中，部署传感器网络与图像采集系统，并使用计算机视觉技术以及结合图像识别算法对露台环境进行全面感知，识别周围环境变化和人员行为及其他动态事件。多传感器融合技术则将视觉数据与环境传感器（如温湿度传感器、光照传感器、风速传感器等）的信息进行集成与分析，以提高环境感知的准确性和实时性。应用过程中，先使用高清摄像头进行环境监测，捕捉露台内外的视觉信息，依靠深度卷积神经网络（CNN）算法识别场景变化。比如，使用图像分割与目标检测技术，计算机视觉可以分析露台中物体的位置与形态变化，自动识别环境因素（如植被生长、遮阳系统、家具的分布等）。接着，温湿度和光照以及风速等环境传感器经过无线网络实时传输数据，进一步提供对环境变化的实时反馈。此外，还可以使用数据融合算法（如卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波）对不同传感器的信息进行合成，使得计算机视觉与多传感器融合能消除单一传感器误差，提高系统的鲁棒性和环境识别精度。数据融合过程中，卡尔曼滤波器的基本公式为：

$$\hat{x}_k = A\hat{x}_{k-1} + Bu_k + K_k(y_k - H\hat{x}_{k-1})$$

其中，$\hat{x}_k$ 为状态估计值，A 为状态转移矩阵，B 为控制矩阵，U_k 为控制输入，K_k 为卡尔曼增益，y_k 为测量值，H 为测量矩阵。融合后，系统可以对露台的温度和湿度以及光照等数据进行精确计算与调整，进而实现更加智能的环境控制和优化。

3.2 深度学习与数据驱动的行为预测与自适应调控

深度学习技术在 AI 驱动的住宅景观露台智能化设计中，主要是对大量历史数据的分析与学习，使得深度学习模型可以实现对用户行为的预测，并根据预测结果自动调整露台环境参数，实现精准、个性化的空间调节。行为预测主要依赖于深度神经网络（DNN）和长短时记忆网络（LSTM），以有效处理时间序列数据并预测用户的活动规律及需求。实际应用中，深度学习先对大量传感器数据和历史用户交互数据进行训练，以便建立一个可以准确描述用户行为模式的模型。假设某一用户在某段时间内频繁调节遮阳系统、改变光照强度或调整温度，深度神经网络模型便可以从这些数据中提取特征并进行模式识别。其核心公式为：

$$h_t = \sigma(W_h x_t + U_h h_{t-1} + b_h)$$

其中，h_t 为 t 时刻的隐藏状态，x_t 为输入数据，W_h 为权重矩阵，U_h 为循环权重矩阵，b_h 为偏置项，σ 为激活函数。这种方式可以让系统可以实时捕捉到用户的行为特征，进行即时调整。如系统检测到用户经常在午后调节温度或增加遮阳，系统便可提前预测并自动调整环境参数。

在自适应调控方面，基于深度学习的模型可以不断优化控制策略，使系统可以在不依赖人工干预的情况下，自动调节露台的环境条件，最大程度地提高居住体验并降低能耗，以此让系统能随着时间推移不断提高预测准确性，使得露台环境始终处于用户需求的最佳状态。

3.3 BIM 建模仿真与智能优化设计方法

AI 驱动的住宅景观露台智能化设计中，BIM（建筑信息建模）技术利用三维建模与数据集成，建立住宅露台及其环境的数字化模型，使设计师在虚拟空间中预先模拟并优化设计方案，以避免传统设计中的反复修改与成本浪费。BIM 模型中，露台的建筑结构和景观设计以及环境控制系统等元素利用数据层层集成的方式，形成完整的数字化资产。仿真分析则可以利用气候仿真模拟，预测不同季节下露台的温度变化和阳光照射角度等，以优化遮阳系统的设计。遗传算法（GA）和粒子群优化算法（PSO）等智能优化算法与 BIM 模型相结合，实现对露台空间布局和环境控制系统的自动调整。遗传算法的核心公式为：

$$x_i^{k+1} = x_i^k + c_1 r_1 (p_b - x_i^k) + c_2 r_2 (g_b - x_i^k)$$

其中，x_i^{k+1} 为第 i 个粒子在第 k+1 代的位移，p_b 为个体最优位置，g_b 为全局最优位置，r_1、r_2 为随机数，c_1、c_2 为加速常数。这种优化方法使得系统可以从多个设计方案中选择出最优方案，实现最佳的空间布局与功能配置。此外，BIM 建模技术可以与其他 AI 技术结合，使得 AI 算法优化建模过程中的参数设置，提高建模精度与效率。智能优化设计中，BIM 可以提供数据支持，并可以根据实时反馈数据调整设计决策，使露台设计更加符合实际需求，实现动态优化。

4 AI 驱动的空间交互优化及系统性能评估

4.1 智能露台自适应环境调控优化策略

AI 驱动的智能露台自适应环境调控系统使用深度学习和传感器网络以及模糊控制算法，实现光照、通风、遮阳与

温湿度的动态调节，提高露台环境适应性与能源利用率。光照控制采用计算机视觉与光照传感器结合的方法，摄像头获取露台光照分布图像，结合光敏传感器的数据输入，基于卷积神经网络（CNN）进行光照强度分析，并利用调光模块动态调整灯光输出，使环境光照维持在舒适范围。遮阳系统则使用红外传感器监测太阳角度与直射光强度，结合历史数据进行预测，以长短时记忆网络（LSTM）计算未来时间段的太阳照射角度，调整遮阳设备的角度与开合状态，优化遮阳效果并降低能耗。

通风系统采用流体动力学（CFD）仿真结合环境传感器网络计算空气流动情况，并基于强化学习算法优化风速控制策略。风速传感器、二氧化碳浓度传感器与温湿度传感器采集环境数据，输入至强化学习模型，构建状态 - 动作 - 奖励函数框架，使系统在不同气候条件下自动调整通风强度，提高空气质量并优化露台热舒适性。温湿度调控采用自适应模糊控制算法，基于输入参数模糊化、规则推理及去模糊化处理，实现精确调节。温湿度调控系统的模糊控制规则为：

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

其中，u(t) 为控制输出，e(t) 为误差，K_p、K_i、K_d 分别为比例、积分及微分系数，系统实时调整控制参数，使温湿度维持在设定范围，增强环境稳定性 [1]。

4.2 空间交互效率与用户体验提升技术路径

AI 驱动的空间交互技术依赖多模态数据融合和计算机视觉以及智能语音交互系统，利用用户行为识别和智能路径规划以及交互优化算法，提高空间交互效率并增强用户体验。用户行为识别基于摄像头和惯性测量单元（IMU）及压力传感器的数据输入，使用基于注意力机制的长短时记忆网络（Attention-LSTM）分析用户运动轨迹及停留区域，优化家具与设备布局，减少空间拥堵，提高交互便捷性 [2]。智能路径规划采用 AI 搜索算法结合动态避障策略，使摄像头获取实时环境信息，计算机视觉进行目标检测与区域划分，并利用图卷积网络（GCN）计算最优交互路径，提高用户行动效率。路径优化函数定义如下：

$$C(P) = \sum_{i=1}^{n} w_i d_i + \sum_{j=1}^{m} \lambda_j t_j$$

其中，C(P) 为路径总成本，d_i 为路径距离，t_j 为避障调整时间，w_i 与 λ_j 分别为加权系数 [3]。智能语音交互系统采用自然语言处理（NLP）及语义理解技术，结合语音识别系统，实现用户与露台环境的自然交互，并利用深度强化学习优化语音控制策略，使系统适应用户个性化需求，提升交互流畅度与响应速度。

4.3 系统能耗管理与长期稳定性评估

AI 驱动的智能露台能耗管理系统采用基于深度强化学习（DRL）的优化算法，构建状态 - 动作 - 奖励函数框架，根据历史能耗数据调整光照和通风以及空调系统，优化能耗分配策略并提高能源利用率。智能能耗预测模型基于时间序列回归网络（TSRN），输入光照和温湿度以及设备运行数据，预测未来时间段的能耗需求，实现预调节策略并提高系统节能效果。为了有效评估长期稳定性，实验采用以下步骤进行验证： 在不同气候条件下，设置露台环境温度范围为 15-35° C，湿度范围为 30%-85%，光照强度范围为 300-1500 lx，模拟真实使用场景，对比传统控制系统与 AI 优化系统的能耗变化及响应速度。实验步骤包括：1）在标准露台环境中部署传感器网络，采集基础环境数据；2）采用传统自动化控制系统运行 7 天，记录能耗数据及系统响应时间；3）切换至 AI 优化系统，运行 7 天，记录相同参数；4）比较两种系统的能耗差异及响应速度。实验数据如表 1 所示。

表 1：实验数据

测试项目	传统自动化系统	AI 优化系统
平均能耗（kWh/ 天）	7.85	5.62
平均温湿度波动幅度（%）	12.5	4.8
光照调节响应时间（s）	5.4	2.1
遮阳系统调节精度（° ）	± 4.2	± 1.6

从表中可知，AI 优化系统在能耗控制、环境稳定性、响应速度及调节精度方面均优于传统自动化系统。平均能耗降低 28.4%，表明 AI 系统使用智能调控优化能源使用。温湿度波动幅度减少 61.6%，说明 AI 可以动态调整环境参数，提高舒适度。光照调节响应时间缩短 61.1%，证明 AI 可使用实时预测与快速调整提高调节效率。遮阳系统调节精度提升 2.6° ，反映出 AI 优化后的控制算法可精准匹配光照需求，减少过度或不足遮阳现象。

5 结语

研究基于 BIM 建模仿真和数据优化算法以及强化学习模型，构建完整的智能露台设计技术体系，提升空间交互效率并提高系统能效，以此优化人机交互体验并增强长期运行的稳定性。研究结果证明了 AI 驱动的智能露台可突破传统自动化控制的局限，推动露台设计从被动响应向主动感知与动态调控演进，为智慧城市与绿色建筑领域的智能空间发展提供技术参考。未来智能露台设计将随着人工智能、物联网及 5G 通信的持续发展，在多模态感知和实时优化及全生命周期管理等方面实现更高水平的智能化，进一步提升住宅环境的舒适度与可持续性。

参考文献

[1] 何世伟.市政道路工程的智能化设计研究[J].智能建筑与智慧城市,2025,(02):168-170.

[2] 吴梓铭,刘瑶瑶.赣州市老旧小区适老化改造设计中的智能化应用[J].科技与创新,2025,(03):221-223.

[3] 丁文蓓.基于影响居住者满意度的阳台空间设计研究[J].农业科技与信息,2023,(09):137-142.