

基于机器学习的空间模式分析与 景观设计优化研究

崔立文, 王璇

常州大学美术与设计学院, 江苏 常州

收稿日期: 2024年11月15日; 录用日期: 2024年12月12日; 发布日期: 2024年12月19日

摘要

随着城市化进程的推进, 景观设计面临着更为复杂的挑战, 特别是在空间布局优化、功能区划和用户体验方面。机器学习技术作为一种强大的数据分析工具, 在景观设计领域有着极大的应用潜力。本研究探讨了机器学习在空间模式分析中的应用, 旨在为景观设计提供优化决策支持。研究发现, 通过分析大量空间数据, 机器学习能够发现潜在的空间分布规律、用户行为模式及其相互影响关系, 从而帮助设计师在空间布局、功能区划和环境适应性方面进行优化。尽管如此, 机器学习在景观设计中的应用也面临数据采集、模型复杂性和可解释性等挑战, 不过未来随着技术的进步, 其应用前景将更加广阔。

关键词

机器学习, 景观设计, 空间模式分析, 数据驱动设计

Research on Spatial Pattern Analysis and Landscape Design Optimization Based on Machine Learning

Liwen Cui, Xuan Wang

School of Art and Design, Changzhou University, Changzhou Jiangsu

Received: Nov. 15th, 2024; accepted: Dec. 12th, 2024; published: Dec. 19th, 2024

Abstract

With the advancement of urbanization, landscape design faces more complex challenges, especially in terms of spatial layout optimization, functional zoning and user experience. As a powerful data

analysis tool, machine learning technology has great application potential in the field of landscape design. This study explores the application of machine learning in spatial pattern analysis, aiming to provide optimization decision support for landscape design. The study found that by analyzing a large amount of spatial data, machine learning can discover potential spatial distribution patterns, user behavior patterns and their mutual influence, thereby helping designers to optimize spatial layout, functional zoning and environmental adaptability. Despite this, the application of machine learning in landscape design also faces challenges such as data collection, model complexity and interpretability. However, with the advancement of technology in the future, its application prospects will be broader.

Keywords

Machine Learning, Landscape Design, Spatial Pattern Analysis, Data-Driven Design

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市化进程的加速,现代景观设计面临着诸多挑战。从传统的自然景观规划到当代的城市公共空间设计,设计师不仅要考虑美学和功能,还需应对日益复杂的用户需求、环境适应性、可持续性和社会互动等多重因素。如何在复杂的城市环境中实现优化的空间布局,提升公共空间的使用效率和舒适度,已经成为景观设计领域的重要研究课题。

在此背景下,机器学习技术作为一种强大的数据分析技术,正在为多个领域带来变化。在城市规划与设计领域,机器学习通过对大量空间数据的处理与分析,能够发现潜在的模式和规律,从而为设计决策提供数据驱动的依据。近年来,越来越多的学者开始关注机器学习在景观设计中的应用,尤其是在空间布局优化、功能区划和方案生成等方面的潜力。尽管如此,机器学习在景观设计中的应用仍处于探索阶段,且存在一定的理论与实践空白。

本研究的核心目标是探讨如何通过机器学习技术进行空间模式分析,从而辅助景观设计的优化。在空间模式分析中,机器学习能够从大量设计样本中提取出潜在的空间分布规律、用户行为模式及其相互关系,这些分析结果不仅能够帮助设计师优化空间布局,还能为景观设计中的功能分区、环境适应性以及用户体验等方面提供决策支持。

2. 相关理论概述

2.1. 机器学习的基本概念与发展

机器学习(Machine Learning)是人工智能领域的一个重要分支,它通过利用计算机技术,对于采集的数据做计算分析,并通过不断的改进计算方法,来提高完成特定系统的准确性,并从中推断出模式和规律,进而做出预测或决策。与传统的基于规则的编程方法不同,机器学习使得计算机能够自主从数据中学习并不断优化其预测和决策能力。其核心是利用统计学和计算算法,从数据中发现潜在规律并进行推断,广泛应用于图像识别、语音识别、自然语言处理、推荐系统等领域[1]。

机器学习可以根据学习方式分为三类:监督学习、无监督学习和强化学习。监督学习用有标签的数据作为最终学习目标,根本目标是训练机器学习的泛化能力。监督学习的典型算法有:逻辑回归、多层

感知机、卷积神经网络等:典型应用有:回归分析、任务分类等。在无监督学习中,算法则通过分析数据之间的内在联系和模式,发现数据中的潜在结构和规律。而强化学习则通过与环境的互动来学习如何在不同情境下作出决策,以最大化回报[2]。

近年来,随着计算能力的提升和大数据的普及,机器学习尤其是深度学习(Deep Learning)在多个领域取得了突破性进展,使其逐渐进入大众视野。深度学习基于多层神经网络的结构,能够在大量数据中自动学习高层次的特征表示,已被广泛应用于图像处理、语音识别、自然语言理解等领域。在城市规划与景观设计中,机器学习被越来越多地应用于数据分析、模式识别、预测分析等任务,为更加精准和高效的设计决策提供支持[3]。

2.2. 空间模式分析的基本理论

空间模式分析是一种研究空间数据中存在的空间结构和模式的分析方法,如空间句法、空间统计学等,旨在揭示空间数据背后的规律和趋势。空间模式通常涉及空间元素的分布、空间关系以及这些空间元素与其他变量(如人群流动、环境变化等)之间的互动[4]。空间模式分析是地理信息科学(GIS)、城市规划、环境设计等领域中的重要工具,它可以帮助分析和优化空间布局,提升空间利用效率[5]。

在景观设计中,空间模式分析帮助设计师识别并理解空间元素如何在地理空间中分布,及其与人类活动、自然景观、建筑等要素的关系。通过机器学习,设计师可以利用空间模式分析技术自动识别不同空间布局的潜在规律,从而为优化设计提供数据支持。常见的空间模式分析方法包括点模式分析、聚类分析、空间自相关分析等,这些方法可以揭示空间数据中的热点区域、冷点区域,以及不同区域之间的关联性。

例如,聚类分析可以帮助识别景观设计中不同功能区的分布模式,支持合理的功能区划和布局。空间自相关分析则可以揭示不同空间元素之间的相互关系,如人流与绿地、道路与建筑之间的关系,为空间优化和环境适应性提供重要依据。随着机器学习技术的发展,空间模式分析也逐渐从传统的统计分析方法转向更为复杂的数据驱动方法,如基于深度学习的空间数据分析,能够处理更为复杂的空间数据和多维度的设计因素[6]。

2.3. 景观设计的理论框架与应用

景观设计作为一门综合性学科,涉及艺术、环境科学、社会学、工程学等多个领域的知识,旨在创造具有美学价值、功能性和生态适应性的环境。景观设计的基本目标是通过自然和人工环境的布局、形态和功能的设计,改善人类的居住环境,提高生活质量,并促进人与自然的和谐共生。景观设计中的空间布局、功能分区、视觉美学和用户体验等方面,是设计师需要重点考虑的要素[7]。

在景观设计的过程中,空间布局的合理性和功能区划的科学性至关重要。它直接影响到人们的使用效率、舒适度和安全性。功能区划则是根据不同的使用需求,将景观空间划分为若干个区域,每个区域具有不同的功能,如休闲、娱乐、交通、绿化等。设计师通过对空间模式的深入分析,能够更好地理解空间布局与人类行为之间的关系,从而为景观设计的优化提供有力支持。

机器学习在景观设计中的应用,特别是在空间布局优化、功能区划和用户行为分析等方面,展现出巨大的潜力。例如,通过分析城市公共空间中人群的流动模式,机器学习可以帮助设计师预测不同空间布局对用户行为的影响,从而优化设计方案[8]。此外,机器学习还能够通过对历史案例的分析,提取出最佳设计策略,为新项目的设计提供数据支持。

随着计算技术的不断进步,机器学习不仅能够帮助设计师从庞大的数据中提取有效的信息,还能在设计过程中提供实时反馈,辅助设计师进行决策。机器学习在景观设计中的应用,可以为传统的设计方法带来了新的思路和方法,推动景观设计理论与实践的创新。

3. 机器学习在景观设计中的应用研究

3.1. 空间模式分析与优化

空间模式分析是景观设计中重要的一个环节,尤其在城市规划与公共空间设计中,如何通过合理的空间布局提升场所的功能性、可达性以及美学价值,已成为设计师的重要课题。传统的空间分析方法如直觉设计、专家评审等,往往难以处理复杂的空间数据和多维度的影响因素。而机器学习技术可以通过对历史数据的训练,自动识别空间布局中的潜在模式,提供更加科学的设计优化建议。

在空间模式分析中,聚类分析和回归分析等机器学习方法尤为重要。通过聚类分析,设计师可以从不同区域的使用模式中发现空间的功能分布特点,进而优化空间布局 and 资源配置。而回归分析则可以帮助设计师量化空间布局与使用效果之间的关系,例如空间的通透性、功能区的配比等如何影响用户的使用体验和空间的舒适度。

例如,陈等人的研究中,将空间句法与机器学习相结合,提出了一套新的空间指征分析框架,用于量化中国古典园林的空间特征。该框架系统地将空间句法的经典理论与机器学习技术结合,使用 DepthmapX 对园林空间的可视层、可行层模型的各项视域分析指标进行计算,通过叠加分析对空间指征进行测度,借助 DBSCAN 算法实现对各空间指征聚类特征的识别,见图 1。以留园、拙政园为例进行分析,并开展感知试验以验证其科学性。通过这种方法,不仅能够量化古典园林的空间结构,还能通过机器学习提取出不同空间布局对用户行为与体验的影响,从而为现代景观设计提供新的研究视角与优化建议[9]。

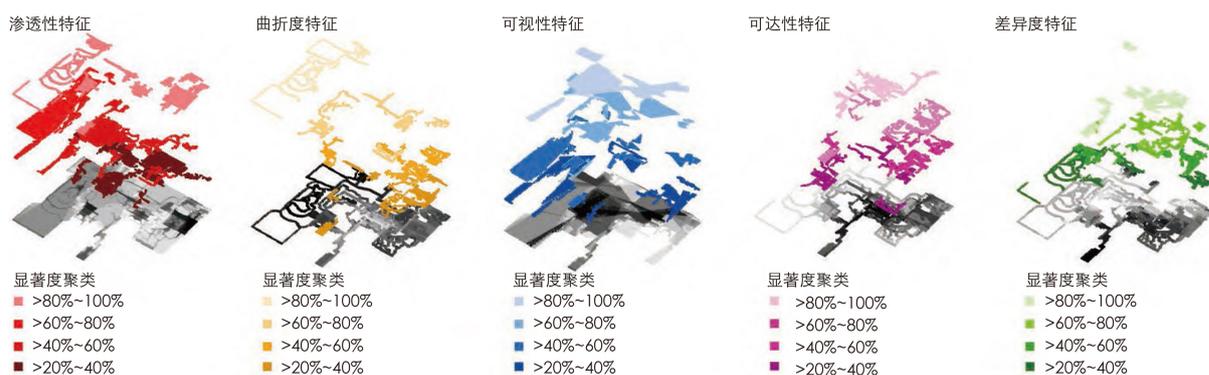


Figure 1. Extraction of spatial features at different significance levels based on DBSCAN algorithm: A case study of Liu Garden
图 1. 基于 DBSCAN 算法的各显著度层级空间特征提取: 以留园为例^①

3.2. 用户行为预测与分析

用户行为预测是机器学习在景观设计中的另一个重要应用领域。通过收集和分析用户在公共空间中的活动轨迹、停留时间、互动方式等数据,机器学习可以帮助设计师深入了解不同设计元素对用户行为的影响。这不仅能够优化设计方案,还能为后续的景观改造和公共空间管理提供数据支持。

例如,利用机器学习中的分类算法(如决策树、随机森林等),设计师可以对不同类型的用户(如儿童、老人、游客等)在特定空间中的行为模式进行预测,进而调整设计方案以满足不同用户群体的需求。此外,聚类分析还可以帮助设计师识别用户在空间中的活动热区,从而优化空间功能区划和布局,提高空间利用率。

在 Naderi 研究中通过对 54 名参与者在 6 种不同步行环境中的反应进行收集,并利用决策树算法对这些数据进行分析,揭示了影响步行决策的环境变量包括天气、声音、水景、光照和空间边缘等。这些变量对步行者是否决定选择某一环境进行步行起到了重要作用。基于此,研究提出了一种灵活的分析模型,能够为景观设计师提供关于步行环境优化的方向[10]。

通过行为数据的分析, 机器学习不仅能够预测用户在特定空间中的活动频率, 还能够揭示设计元素(如绿植、座椅、开阔视野等)对用户行为的影响。此外, 在公园的设计中, 分析不同区域的用户活动数据, 机器学习可以帮助设计师判断哪些区域具有更高的访问频率, 并为这些区域配备更多的公共设施或绿色空间, 以吸引更多的用户。

3.3. 景观质量评估与反馈

景观质量评估是景观设计的一个重要环节, 评估结果直接影响设计决策的合理性和有效性。传统的景观质量评估方法往往依赖专家的主观判断, 虽然专家经验丰富, 但这种方法往往受限于个人偏见和主观性, 缺乏系统性和全面性。机器学习技术的引入, 为景观质量评估提供了新的方向。

机器学习可以通过对用户反馈、环境数据和设计方案的综合分析, 建立景观质量评价模型。例如, 支持向量机(SVM)、神经网络等算法可以通过分析空间设计与环境参数(如绿化覆盖率、交通流量、噪音水平等)之间的关系, 建立预测模型, 对景观设计的质量进行量化评估。在 Lee 等人的研究中, 通过使用支持向量机(SVM)和 SHAP 算法, 研究者能够对街景环境中的不同视觉元素(如街道的可见面积、复杂度、绿化面积等)进行定量分析, 并发现低封闭度、适度的复杂度和较大的绿化面积能够显著提高步行者的满意度, 见图 2。在这个研究中, 机器学习不仅帮助识别了视觉元素与步行满意度之间的复杂关系, 还揭示了设计师可以通过优化街景的视觉组成来提升步行环境的质量。这些发现为街道景观的优化设计提供了量化依据, 也可以为景观设计师在进行街景优化时提供了重要的指导[11]。

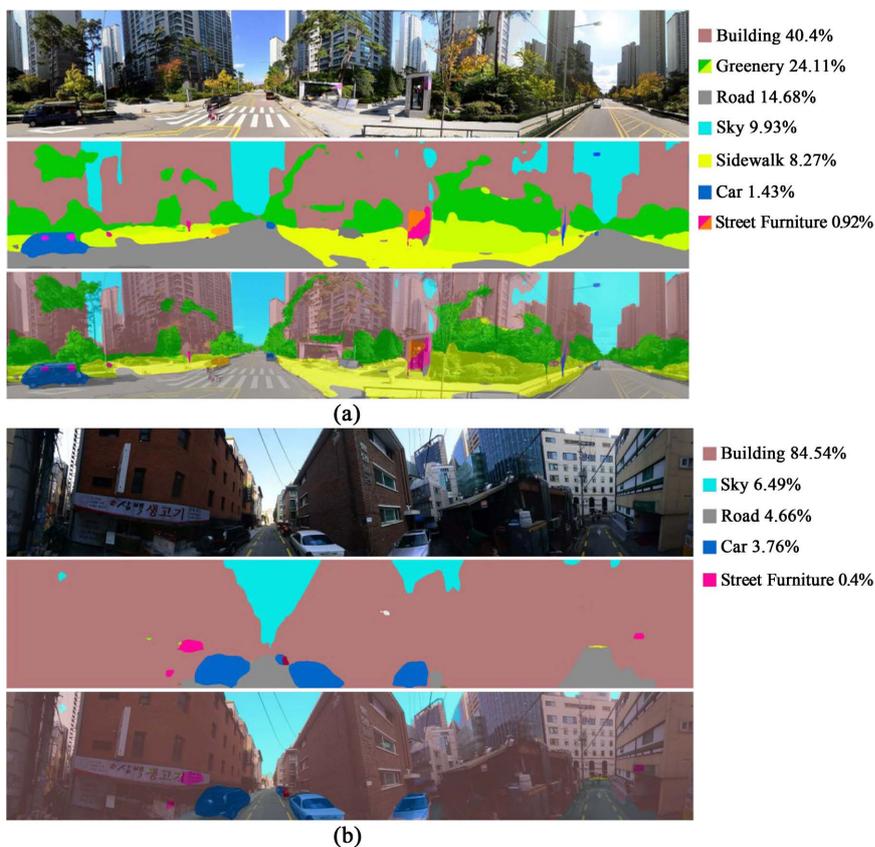


Figure 2. Results of visual analysis: (a) Example image with a high walking satisfaction score (4.05); (b) Example image with a poor walking satisfaction score (1.35)

图 2. 视觉分析结果: (a) 步行满意度得分高(4.05)的示例图像; (b) 步行满意度得分较差(1.35)的示例图像[®]

此外, 未来随着景观质量评价的标准化发展, 机器学习可以帮助设计师在方案评估阶段实现自动化与智能化, 快速筛选出符合质量要求的设计方案, 节省时间和成本。通过机器学习对环境因素和用户反馈的分析, 设计师能够更精确地评估景观设计对生态环境、社会互动、心理舒适等方面的影响。

3.4. 生成设计与优化

生成设计是机器学习在景观设计中一个较为前沿的应用领域。通过训练生成对抗网络(GAN)等深度学习模型, 机器能够根据输入的设计约束和空间数据自动生成符合要求的设计方案。这种方法不仅能够极大地提高设计效率, 还能够提供更多创意和创新的设计思路[12]。

通过 GAN, 设计师可以将不同的景观元素(如道路、绿地、水体、建筑等)作为输入, 机器生成符合美学、功能性和可持续性要求的设计方案。这种方法尤其适用于城市环境优化和景观项目, 其优势在于能够快速生成多种可能的设计方案, 提供设计灵感, 甚至可以为设计师提供一些非传统的、创新性的设计选择。

例如在陈等人的研究中, 便深入探讨了 GAN 在风景园林设计中的应用。该研究采用样式生成对抗网络 2 代(style generative adversarial network2, StyleGAN2)算法, 通过对大量风景园林设计图像的训练, 机器能够生成高质量和多样化的风景园林设计方案, 见图 3。此外, StyleGAN2 不仅能够为不同类型的场地生成符合设计要求的方案, 并且可以识别和提取一些高维抽象设计特征, 如植被密度、水域面积、铺装面积、道路网络结构等。通过对 StyleGAN2 中生成结果的分析, 研究者采用了主成分分析(principal component analysis, PCA)和无监督学习方法(如 K 均值聚类)对生成的设计特征进行可视化, 进一步揭示了生成模型对设计特征的识别能力。研究表明, 虽然神经网络能够识别图像形态特征, 并在无监督学习的情况下识别一些抽象设计特征, 但由于设计特征之间的耦合性较高, 当前算法仍然面临一定的局限性, 例如缺乏较强的可解释性。因此, 尽管生成设计技术已表现出巨大的潜力, 但如何进一步提高其可解释性和适应复杂设计任务的能力, 仍然是未来需要解决的关键问题[13]。

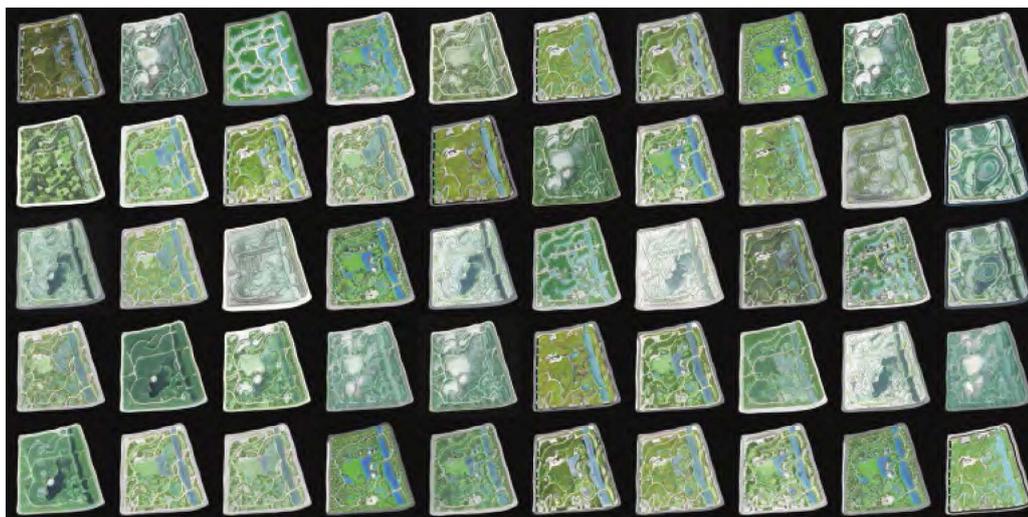


Figure 3. Results of scheme generation by directional generator

图 3. 定向生成器生成方案结果[®]

4. 结论与展望

本研究通过探讨机器学习在空间模式分析中的应用, 揭示了机器学习技术在景观设计优化中的潜力。

机器学习作为一种强大的数据处理技术, 能够通过分析大量空间数据, 识别出潜在的空间分布规律与用户行为模式。这一过程不仅能够帮助设计师更精准地优化空间布局, 提升公共空间的功能性、舒适性和用户体验, 还能够为景观设计中的功能分区、环境适应性等方面提供理论支持。

通过对机器学习在空间模式分析中的应用进行研究, 我们发现, 虽然目前机器学习在景观设计领域的应用尚处于初步探索阶段, 但随着技术的不断发展, 尤其是深度学习和强化学习等技术的成熟, 未来机器学习将在景观设计领域扮演越来越重要的角色。对于设计师而言, 机器学习不仅能提供更为精准的空间布局优化方案, 还能通过模拟与预测等手段帮助解决复杂的设计问题, 如用户行为预测、景观功能评估等。

然而, 尽管本研究揭示了机器学习在景观设计中的应用前景, 仍存在一些局限性。首先, 机器学习的效果往往依赖于大量的高质量数据, 而目前景观设计领域的数据采集与标注仍面临着一定的挑战。其次, 机器学习算法的复杂性要求设计师不仅要具备设计经验, 还需具备一定的技术能力, 这对某些景观设计师而言可能构成障碍。此外, 机器学习模型的黑箱性质也是一个不容忽视的问题, 在设计过程中, 如何保证模型的透明性和可解释性, 仍是一个需要深入研究的问题。

未来, 随着数据获取方式的不断丰富以及算法技术的进步, 机器学习将在景观设计中的应用将更加广泛和深入。在此基础上, 未来的研究可以着重探讨如何克服目前机器学习应用中的局限性, 如何结合多学科知识, 更好地推动机器学习与景观设计的深度融合。此外, 随着智能硬件和传感器技术的发展, 景观设计的实时数据采集与分析将为机器学习提供更多的支持, 这也将推动智能化景观设计的进一步发展。

注 释

- ① 图 1 来源: 参考文献[9]。
- ② 图 2 来源: 参考文献[11]。
- ③ 图 3 来源: 参考文献[13]。

参考文献

- [1] 孟子流, 李腾龙. 机器学习技术发展的综述与展望[J]. 集成电路应用, 2020, 37(10): 56-57.
- [2] 张润, 王永滨. 机器学习及其算法和发展研究[J]. 中国传媒大学学报(自然科学版), 2016, 23(2): 10-18, 24.
- [3] 黄立威, 江碧涛, 吕守业, 等. 基于深度学习的推荐系统研究综述[J]. 计算机学报, 2018, 41(7): 1619-1647.
- [4] 陈坚, 王宽, 李涛. 传统聚落的气候适应性自然山水空间模式分析——以荃州古镇为例[J]. 现代园艺, 2017(19): 44, 141.
- [5] 郎月华, 李仁杰, 傅学庆. 基于 GPS 轨迹栅格化的旅游行为空间模式分析[J]. 旅游学刊, 2019, 34(6): 48-57.
- [6] 王玮, 韦姿言, 张嘉龙, 等. 基于 KANO 模型分析的生态乡村景观设计需求聚类研究——以长三角地区乡村聚落为例[J]. 现代城市研究, 2024(8): 120-125.
- [7] 王军, 傅伯杰, 陈利顶. 景观生态规划的原理和方法[J]. 资源科学, 1999, 21(2): 73-78.
- [8] 王江波, 连芝锐, 冯涛, 等. 基于机器学习的时空出行选择行为研究综述与展望[J]. 地理科学进展, 2024, 43(8): 1649-1665.
- [9] 陈星汉, 于瀚婷, 熊若璟, 等. 基于空间句法与机器学习的中国古典园林空间指征分析框架建构[J]. 风景园林, 2024, 31(3): 123-131.
- [10] Naderi, J.R. and Raman, B. (2005) Capturing Impressions of Pedestrian Landscapes Used for Healing Purposes with Decision Tree Learning. *Landscape and Urban Planning*, 73, 155-166.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.11.012>
- [11] Lee, J., Kim, D. and Park, J. (2022) A Machine Learning and Computer Vision Study of the Environmental

Characteristics of Streetscapes That Affect Pedestrian Satisfaction. *Sustainability*, **14**, Article 5730.
<https://doi.org/10.3390/su14095730>

- [12] 陈然. 基于生成对抗网络的风景园林生成设计研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2022.
- [13] 陈然, 赵晶. 基于样式生成对抗网络的风景园林方案生成及设计特征识别[J]. 风景园林, 2023, 30(7): 12-21.