

DOI:10.11918/201912143

基于 CGAN 的居住区强排方案生成设计方法

孙澄^{1,2}, 丛欣宇^{1,2}, 韩昀松^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学 建筑学院, 哈尔滨 150001; 2. 寒地城乡人居环境科学与技术工业和信息化部重点实验室 (哈尔滨工业大学), 哈尔滨 150001)

摘要: 居住区强排方案设计有助于提高项目容积率, 是达成集约化建设的重要途径。既有强排设计多由设计者基于日照模拟分析结果, 主观制定强排设计决策, 设计效率较低。旨在立足深度学习技术语境, 提出基于条件生成对抗网络 (CGAN) 的居住区强排方案生成设计方法, 应用 pix2pix 算法, 构建基于 CGAN 的居住区强排方案生成设计模型, 通过学习低层、多层、高层居住区轮廓与强排设计方案总平面图的对应关系, 生成任意居住区轮廓条件下的居住区强排设计方案, 提高居住区强排设计精度与效率, 推动城市土地的高效利用。以中纬度地区的 3 个居住区为例, 验证所提方法的应用效果, 评价所生成方案的日照性能。结果表明: 所生成低层方案可满足大寒日 2 h 日照要求, 多层方案中 96% 的房间可满足日照要求, 高层方案中 84% 的房间可满足日照要求, 高层容积率 > 3.0、多层容积率 > 1.5、低层容积率 > 0.5, 说明所生成方案有效利用了城市用地, 且应用所建立模型可在 3 s 内生成居住区强排设计方案, 显著降低了强排设计耗时, 提高了设计效率。

关键词: 居住区强排方案设计; CGAN; 训练数据集; 模型预测; 验证评价

中图分类号: TU17

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2021)02-0111-11

Generative design method of forced layout in residential area based on CGAN

SUN Cheng^{1,2}, CONG Xinyu^{1,2}, HAN Yunsong^{1,2}

(1. School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Key Laboratory of Cold Region Urban and Rural Human Settlement Environment Science and Technology (Harbin Institute of Technology), Ministry of Industry and Information Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Forced layout design in residential area is beneficial for increasing plot ratio, which is an important approach to achieve intensive construction. Existing residential forced layouts are mostly made by designers subjectively based on the results of sunshine simulation analysis, with low design efficiency. In the context of deep learning technology, a generative design method for residential forced layout based on conditional generative adversarial network (CGAN) was proposed, applying pix2pix algorithm to construct residential forced layout generative model. By learning the corresponding relationship between the outline and the general forced layout of low-rise, multi-story, and high-rise residential areas, the model could generate residential forced layout under any outline conditions, which improves the precision and efficiency of residential forced layout design and promotes the efficient use of urban land. Three residential areas in mid-latitude region were taken as examples to verify the application effect of the proposed method and evaluate the sunshine performance of the generated scheme. Results show that the generated low-rise scheme could meet the sunshine requirement of 2 h in Great Cold day (around January 20); 96% of rooms in multi-story scheme and 84% of rooms in high-rise scheme could meet the sunshine requirement. The plot ratio of the high-rise scheme was more than 3.0, that of the multi-story scheme was more than 1.5, and that of the low-rise scheme was more than 0.5, indicating that the generated schemes make effective use of urban land. The constructed model could generate residential forced layout within 3 s, which significantly reduces the design time of forced layout and improves the design efficiency.

Keywords: residential forced layout design; CGAN; training dataset; model prediction; verification and evaluation

随着城市化进程的加快与经济发展水平的提高, 城市用地规模不断扩大, 土地资源稀缺问题日益

凸显, 土地资源集约利用成为必然的趋势。居住区强排方案是指在满足地块的规划指标和相关规范的前提下, 以经济利益最大化进行设计的住宅小区规划方案, 是项目可行性测算的基础。既有居住区强排方案设计需经过土地分析、单体选型、日照间距确定、容积率测算、产品分布分析等步骤^[1]。在高密度居住区中, 建筑日照阴影相互遮挡严重, 根据日照模拟

收稿日期: 2019-12-26

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51938003);
黑龙江省博士后资助经费(LBH-Z17076)

作者简介: 孙澄(1971—), 男, 教授, 博士生导师;
韩昀松(1986—), 男, 副教授, 博士生导师

通信作者: 孙澄, suncheng@hit.edu.cn

分析结果进行人工试错调整的强排设计方法使得居住区强排方案设计效率低下,且限于建筑设计周期,亟需更加智能、高效的居住区强排设计方法.国内外学者围绕居住区强排方案设计展开了广泛研究,深度学习技术的突破性发展为其提供了新的思路.深度学习是一种能够模拟出人脑的神经结构的机器学习方法.它可以自行抽取特征中有价值的信息进行自身调优与训练,并通过训练去拟合输入从而得到一个合理的模型结构,在生成设计方面有较大潜力.居住区强排方案中建筑排布的规则主要受制于间距、日照等规范的限制,其排布过程更像是对规范所要求的限制条件进行不断验算试错的过程,因此可使用深度学习方法挖掘其设计规律,自动生成居住区强排设计方案.研究旨在提出基于 CGAN 的居住区强排方案生成设计方法,提升方案设计阶段的强排设计效率,提出训练数据集制作流程,为同类研究提供参考.

1 国内外研究现状

居住区规划设计方法的发展主要经历了以下时期.早期的居住区规划设计采用传统的人工设计方法,设计者遵循“方案初步设计—建筑性能模拟—方案优化设计”的过程进行设计,这种被动调整的循环工作模式延长了设计周期,降低了工作效率.

在居住区规划设计的智能化发展时期,设计者将方案设计转化为数学逻辑问题,通过改变算法生成不同的建筑形态^[2].既有研究基于遗传算法、多目标优化算法、多智能体系统、细胞自动机、语法规则展开了居住区规划和城市形态空间生成设计方法,包括自组织生成与自适应优化^[3].应用遗传算法探索了高层居住区自动布局^[4],最大容积率排布方案生成^[5],概念设计方案生成^[6]等.应用多目标优化算法,权衡建筑面积、遮挡率性能目标,展开城市规划方案设计^[7],以及综合考虑城市密度与开放空间面积的街区空间形态方案生成设计等^[8].应用多智能体系统,综合考虑容积率与遮挡率的居住区布局方案生成^[9],结构性策略与进程性策略结合的低层高密度住区设计^[10]等探索.应用细胞自动机,进行了高密度城市三维规划模型构建^[11],高密度住宅方案设计^[12]等探索.遗传算法适用于设计优化,允许对设计空间进行无方向的探索;形状语法适用于基于特定形式与样式的生成设计;细胞自动机与多智能体系统体现了从整体无序到局部有序的自组织设计,适用于行为驱动的设计过程^[13].既有居住区规划方案生成设计方法多为遗传算法,常用于解决多目标优化问题,但其优化设计时间过长^[14],因

此相关研究多停留在理论层面,难以应用其提升设计效率.

近年来,深度学习技术的发展为居住区规划设计提出了新的思路.设计者应用深度学习技术,通过海量案例训练机器学习并模拟建筑师设计过程.条件生成对抗网络(conditional generative adversarial network, CGAN)是深度学习模型的一种,指在生成对抗网络的基础上,引入条件变量作为对模型的附加约束条件,从而指导整个生成过程.基于深度学习预测居住区强排方案总平面图的方法本质上是图像学习,而 CGAN 模型在图像学习领域应用较为广泛,如完成图像合成^[15-16]、图像处理^[17-18]、图像修复^[19]等任务.目前,基于 CGAN 模型的生成设计方法已被应用于城市空间形态规划和建筑设计领域,如生成城市规划方案^[20],生成密集城市内快速增长的建筑形态^[21].Stouffs 等^[22]构建 CGAN 模型,预测城市平面形态;Zheng 等^[23-24]构建 CGAN 模型,依据边界和功能训练,生成卫星图像、手绘建筑草图及建筑平面功能分区图.Isola 等^[25]应用 CGAN,提出了图像对图像翻译问题的通用解决方案—pix2pix 模型,为研究方法的提出提供技术支撑. CGAN 模型在生成设计方面有较大潜力,可用于完成城市路网规划、城市肌理生成、街区规划方案设计、建筑手绘草图生成、建筑平面功能分区等设计任务.既有研究有利用 CGAN 辅助设计决策的探索,但多集中在城市与多个街区尺度,未将其应用于居住区规划方案生成设计方面,且多停留在图像学习层面,训练数据集未经分类与处理,难以应用其进行后续方案深入设计.

2 基于 CGAN 的居住区强排方案生成设计流程

研究提出了包括训练数据集制作、居住区 CGAN 模型构建、居住区强排方案生成设计及验证评价在内的居住区强排方案生成设计方法,见图 1.首先,确定训练数据集格式,为相互对应的居住区轮廓图像与强排方案总平面图;制作不同模式训练数据集并进行比选;综合应用地理信息工具、图像处理工具,生成高层、多层、低层居住区训练数据集.其次,应用 pix2pix 算法,基于开源编程平台构建居住区 CGAN 模型,构建居住区生成器、判别器网络,设计居住区损失函数;应用高层、多层、低层居住区训练数据集,对网络进行交替式训练,得到高层、多层、低层居住区 CGAN 模型.最后,以实际居住区地块为例,以其轮廓图像作为模型输入,生成强排设计方案;在参数化建模工具中,根据所生成强排设计方案

中像素灰度数值与层数的对应关系, 构建居住区建筑几何模型; 对居住区建筑几何模型进行日照模拟分析, 对生成方案进行验证评价. 本文构建的居住区

CGAN 模型可根据任意居住区轮廓预测出对应的强排设计方案, 提高了居住区强排设计精度与效率, 有助于充分利用土地资源, 达成集约化建设.

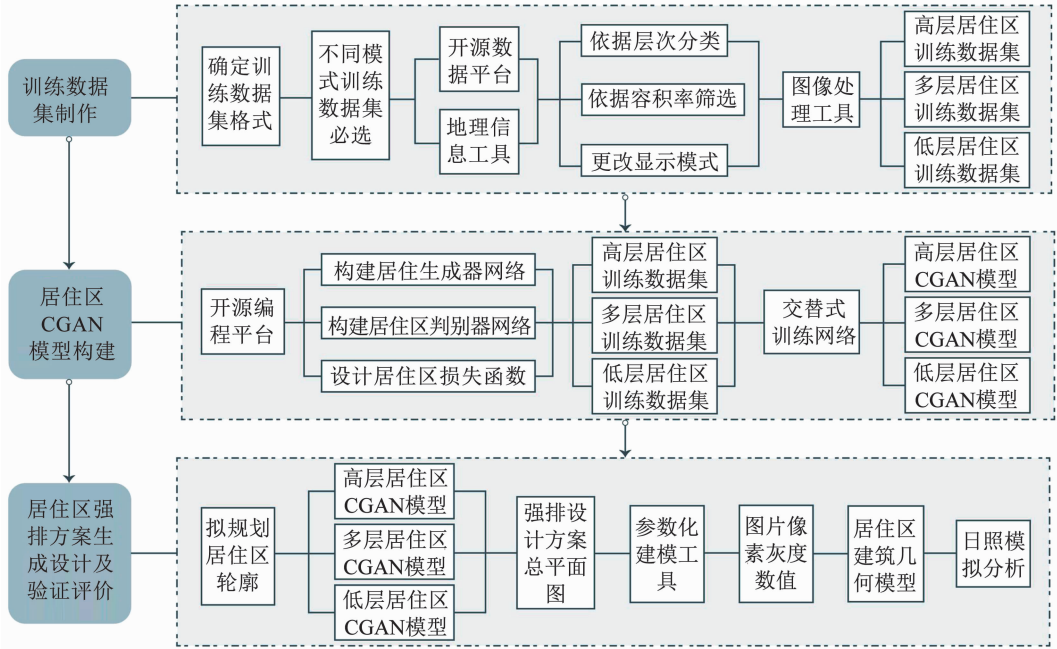


图 1 基于 CGAN 的居住区强排方案生成设计方法流程图^[26]

Fig. 1 Flow chart of generative design method for residential forced layout based on CGAN^[26]

2.1 训练数据集制作

研究制作了 3 种不同模式的训练数据集进行比较, 分别为模式 a 数据集: 居住区轮廓图像(色块图)与强排方案总平面图(图底关系图); 模式 b 数据集: 居住区轮廓图像(轮廓线)与强排方案总平面图(图底关系图); 模式 c 数据集: 居住区轮廓图像(色块图)与强排方案总平面图(卫星图像). 每种模

式的数据集样本都表示居住区轮廓与总平面图的相互对应关系. 模式 a 和 b 数据集来源于 CSDN 网站, 由研究者使用 Q GIS 工具进行筛选, 再通过图像处理工具进行后期处理而得到; 模式 c 数据集来源于百度地图卫星地图模式, 由研究者在网页上对居住区进行筛选, 再通过图像处理工具进行后期处理而得到.

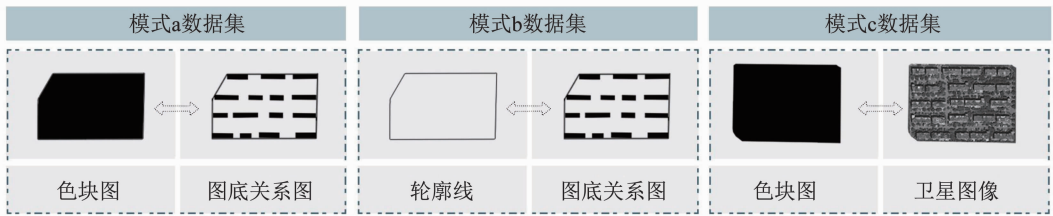


图 2 不同模式训练数据集^[26]

Fig. 2 Training datasets for different modes^[26]

应用不同模式的数据集训练网络模型, 训练结束后在测试集中选取图像进行测试. 通过对生成图像的清晰度、真实度、可行度进行综合评价, 选取生成图像结果较好的模式进行后期训练数据集制作. 生成图像的真实度评价方面, 应用图像结构相似性算法 (structural similarity index, SSIM), 计算真实图像与网络模型生成图像的相似度. SSIM 是一种全参考的图像质量评价指标, 分别从亮度、对比度、结构 3 个方面度量图像相似性^[27]. SSIM 取值范围为

[0, 1], 其值越接近于 1, 表明对比的两幅图像相似度越高.

居住区建筑日照间距与前排房屋的高度和基地地理位置有关, 因此制作训练数据集时应考虑到不同地域对日照间距系数的影响. GB 50180—2018《城市居住区规划设计标准》中列举了中国主要城市的日照间距系数, 部分城市如图 3 所示. 随着城市纬度降低, 其对应的日照间距系数整体呈下降趋势, 因此可认为纬度是影响日照间距系数的重要因素,

纬度相近城市的日照间距系数较接近. 研究将全国主要城市分为 3 类, 选取中纬度地区 (纬度范围 $30^{\circ} \text{N} \sim 38^{\circ} \text{N}$) 的主要城市居住区作为训练数据集样本, 共 11 座城市. 数据集内选取的居住区样本面积范围为 $15\,300 \sim 154\,100 \text{ m}^2$, 建筑多呈行列式布局, 部分为行列式与周边式相结合布局. GB 50352—

2019《民用建筑设计通则》中将住宅建筑按照层数分类:住宅建筑中,1 层至 3 层为低层住宅,4 层至 9 层为多层住宅,10 层及以上为高层住宅. 依据该分类原则,研究将居住区训练数据集样本分为低层居住区训练数据集(1~3 层)、多层居住区训练数据集(4~9 层)、高层居住区训练数据集(层数 ≥ 10)3 类.

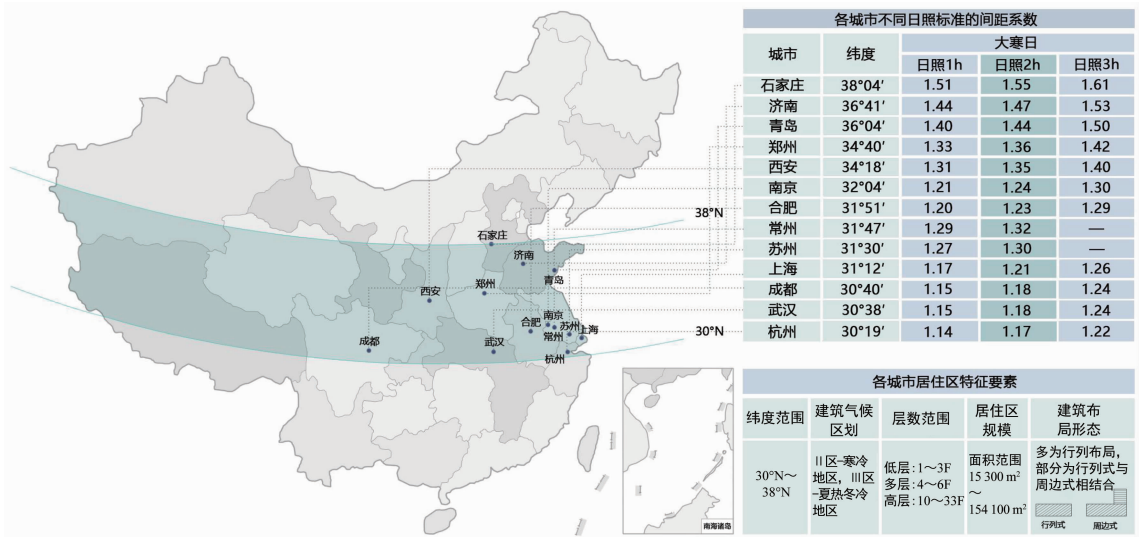


图 3 各城市地理位置、日照间距系数及特征要素^[26]

Fig. 3 Geographical locations, sunshine spacing coefficients, and characteristic elements of cities^[26]

训练数据集原始数据来自 CSDN 网站的城市 shapefile 格式文件, 应用开源地理信息工具 Q GIS 读取城市 shapefile 格式文件, 根据建筑位置属性与层数信息的对应关系, 对居住区进行分类, 并依据容积率对各类居住区样本进行筛选^[26]. 容积率是反映土地三维空间开发强度大小的重要指标. 有学者对低层、多层、高层高密度住宅进行了容积率限定, 雷磊^[28]将容积率 > 0.5 的低层住宅定义为低层高密度住宅, 容积率在 $1.2 \sim 1.6$ 之间的多层住宅定义为多层高密度住宅; 赵青^[29]将容积率 > 3.0 的高层住

宅定义为高层高密度住宅. 因此, 为保证低层、多层、高层高密度居住区样本的数量足够, 且占总体样本的比例适宜, 研究选择低层居住区容积率 > 0.5 、多层居住区容积率 > 1.5 、高层居住区容积率 > 2.5 的高密度居住区样本制作训练数据集. 其次, 改变图层显示模式, 居住区内不同层高的建筑以不同灰度数值表示, 层数越高灰度数值越小. 最后, 将各居住区样本图像按照相同比例导出, 并应用图像处理工具进行批量化处理, 将其处理为网络模型可读取的图像格式.

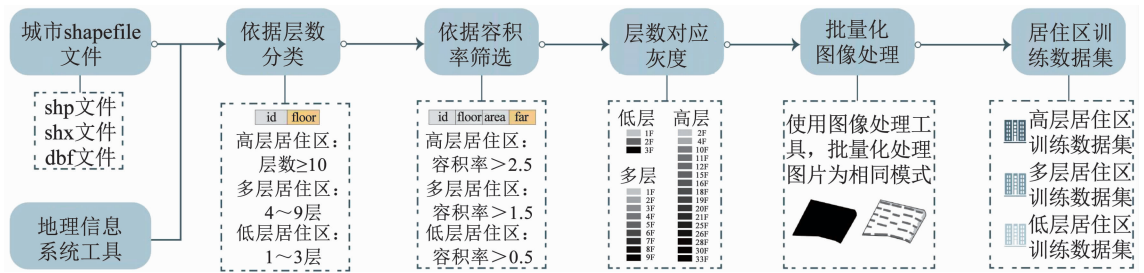


图 4 训练数据集制作流程^[26]

Fig. 4 Production process of training dataset^[26]

2.2 居住区 CGAN 模型构建

居住区 CGAN 模型由居住区生成器网络与居住区判别器网络组成, 两个网络相互对抗博弈. 居住区生成器网络的输入为居住区轮廓图像, 输出为居

住区强排方案总平面图. 居住区生成器网络采用 U-Net 编码器—解码器网络架构, 同时包含使输入与输出共享底层信息的跳跃连接结构. 居住区生成器网络以卷积层作为编码器, 反卷积层作为解码器, 编

码器对输入的居住轮廓图像进行特征向量提取,进行下采样操作,解码器对特征向量进行上采样操作,并使用卷积操作丰富输出的居住区强排方案总平面图的特征信息. 居住区生成器网络的随机噪声以 dropout 层形式输入. 居住区判别器网络的输入为相互对应的居住区轮廓图像与强排方案总平面图,其中强排方案总平面图分为真实图像与居住区生成器网络生成的图像. 居住区判别器网络采用卷积网络结构提取图像特征信息,并引入 PatchGAN,将居住区强排方案总平面图等分计算输出后再取预测概率平均值. 居住区生成器与判别器网络的损失函数,在 CGAN 损失函数的基础上采用 L1 损失函数,提升生成居住区强排方案总平面图的精度与真实度.

CGAN 的损失函数为

$$L_{CGAN}(G, D) = E_{x,y} [\log D(x, y)] + E_{x,z} [\log (1 - D(x, G(x, z)))]. \quad (1)$$

L1 损失函数能够提升生成居住区强排方案总平面图的精度与真实度,可表示为

$$L_{L1}(G) = E_{x,y,z} [\|y - G(x, z)\|_1]. \quad (2)$$

最终的居住区 CGAN 损失函数为

$$G^* = \arg \min_G \max_D L_{CGAN}(G, D) + \lambda L_{L1}(G). \quad (3)$$

式中: G 为居住区生成器网络; D 为居住区判别器网络; x 为居住区轮廓图像; y 为真实的居住区强排方案总平面图; $G(x, z)$ 为居住区生成器网络的生成图像; z 为输入的随机噪声,采用 dropout 代替; λ 为设置的权重值.

居住区 CGAN 模型的学习原理为:1) 居住区生成器网络根据轮廓图像与随机噪声生成强排方案总平面图,其目标是产生居住区判别器网络无法区分

的类“真实”图像.2) 居住区判别器网络接收生成图像,并试图区分生成的“虚假”图像与“真实”图像. 生成图像中包括建筑平面布局信息与建筑层数信息,其中建筑层数以不同数值的灰度颜色表示,建筑层数越高,其对应的颜色灰度数值越小. 模型训练过程中,判别器网络读取生成器网络生成的“虚假”图像与训练数据集中的“真实”图像,对其颜色信息进行特征提取,从而获得建筑层数信息,计算图像的预测概率值与分类误差,并据此调整生成器与判别器网络的权重,从而进行建筑层数的学习与调整,达到模型训练与调优的目的.

研究基于开源编程平台 Anaconda,应用深度学习框架 TensorFlow,在交互式编辑工具 Jupyter Notebook 上对高层、多层、低层居住区 CGAN 模型进行构建. 模型的输入为居住区轮廓图像,输出为居住区强排方案总平面图. 模型训练参数分为优化器超参数与模型超参数,其中模型超参数采用 pix2pix 算法中默认的参数设置. Isola 等^[25]构建 CGAN 模型,迭代次数设置为 200 次,其模型预测结果表明:经过 200 次迭代,可以生成与真实图像相似度较高的预测图像. 研究对不同初始学习率的模型生成效果进行测试,如图 5 所示,结果表明初始学习率为 0.000 2 对应的测试效果最好. 初始学习率为 0.000 1、0.000 2、0.000 3 的模型训练耗时分别为 2 d 3 h 11 min 18 s、2 d 2 h 36 min 55 s、2 d 2 h 36 min 59 s. 因此,综合考虑生成图像质量与训练时间成本,优化器超参数中的迭代次数设置为 500 次,初始学习率设置为 0.000 2. 模型训练参数设置见表 1,每次训练结束在测试集中随机选取图像进行测试.

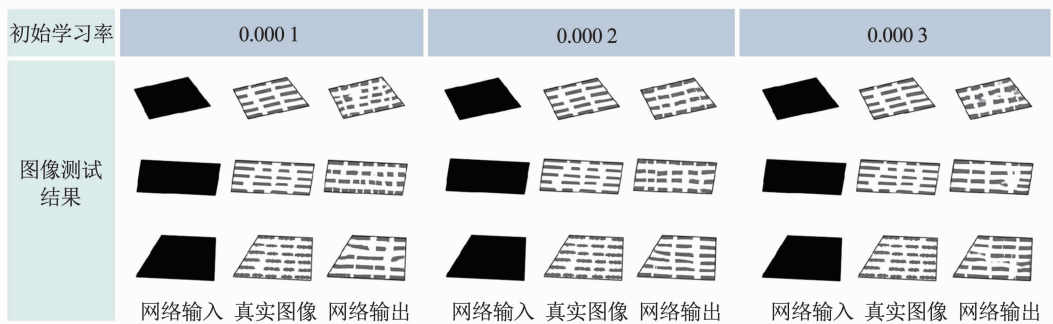


图 5 不同初始学习率的模型测试结果

Fig. 5 Model test results at different initial learning rates

表 1 居住区 CGAN 模型训练参数设置

Tab. 1 Training parameters setting of residential CGAN model

居住区生成器 网络层数/层	居住区判别器 网络层数/层	网络输出 通道数/个	权重值 λ	dropout 层随机 噪声参数	迭代次 数/次	初始学 习率
16(8 层卷积层 + 8 层反卷积层)	7	1	100	0.5	500	0.000 2

2.3 居住区强排方案生成设计及验证评价

以南京市金陵世纪花园、苏州市东湖林语、南京

市殷巷新寓东 2 区为例(见图 6),以其轮廓图像作为模型输入,生成强排设计方案^[26].



图 6 实际居住区地块卫星图像

Fig. 6 Satellite images of actual residential area

研究构建的居住区 CGAN 模型可生成带有高度信息的居住区强排方案总平面图,其高度信息以建筑的不同灰度数值表示.依据低层、多层、高层居住区 CGAN 模型生成方案中不同灰度数值与建筑高度的对应关系,可在参数化建模工具中构建居住区建筑几何模型.居住区强排方案生成设计流程见图 7.首先,将各居住区轮廓向内偏移一定尺寸得到建筑控制线轮廓,高层居住区偏移尺寸为 10 m,多层与低层为 6 m,并将其按照相同比例导出,制作成

网络模型可读取的格式;然后,将其输入至训练好的低层、多层、高层居住区 CGAN 模型,并得到相应的低层、多层、高层强排设计方案总平面图;最后,在 Rhinoceros 参数化建模工具中绘制出各建筑单体轮廓,对图像进行像素网格划分,并计算各建筑靠区域中心部分各点像素平均值,依据像素灰度数值与建筑层数的对应关系,确定建筑层数,从而构建居住区建筑几何模型.

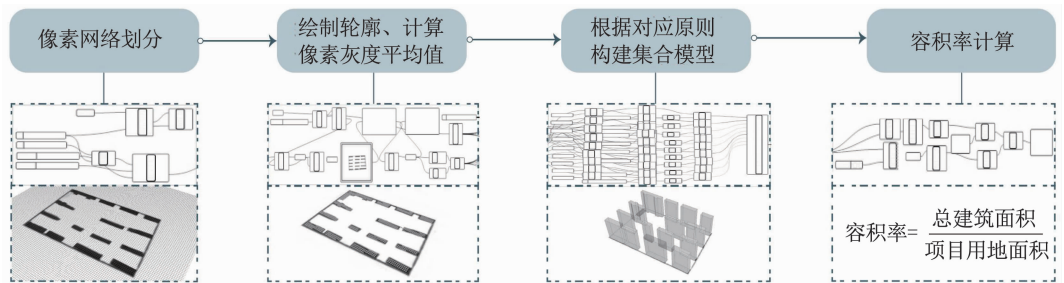


图 7 居住区建筑几何模型构建流程

Fig. 7 Construction process of building geometric model in residential area

为了验证生成强排设计方案的可行性,设计了生成方案的验证评价环节,即对其进行日照模拟分析,验证其是否符合规范要求.研究的日照模拟分析是基于 Rhinoceros 参数化设计工具及其插件 Grasshopper、Ladybug 来实现的.日照模拟分析流程为:在气象数据网站上获取当地气象数据文件(epw 格式文件),读取气象数据文件中的位置信息,从而获取太阳轨迹信息,导入居住区建筑几何模型与测试平面,设置边界条件与模拟参数,得到居住区建筑日照时数.边界条件设置如下:地理位置分别为南京、苏州市,计算日期为大寒日(1月20日),计算时段为 8:00 ~ 16:00,计算面为距地面 0.9 m 高度的外墙位置,即首层窗台平面.模拟参数设置如下:网格尺寸为 1 m,偏移距离为 0.1 m.根据生成方案日照模拟分析结果,以各建筑南立面首层窗台平面为测试平面,以水平方向 4 m 的间距在测试平面上选

取测试点,统计满足日照要求的测试点占总体的比例.

3 结果与讨论

3.1 不同模式训练数据集测试结果

每种模式的训练数据集包括 220 张图片,其中 20 张用于测试.图 8 所示为迭代 200 次后 3 种模式训练数据集各自的测试结果.模式 a 与 b 训练数据集可生成行列布置的清晰建筑边界,模式 c 生成的建筑边界不清晰.模式 a 与 c 测试生成的建筑面宽均合理,但模式 b 生成的部分建筑面宽过长.模式 c 训练数据集的 SSIM 指标较低,但模式 a 训练数据集对应的 SSIM 指标多高于模式 b.本文采用数据集 a 模式生成训练数据集.不同模式训练数据集计算结果见表 2.

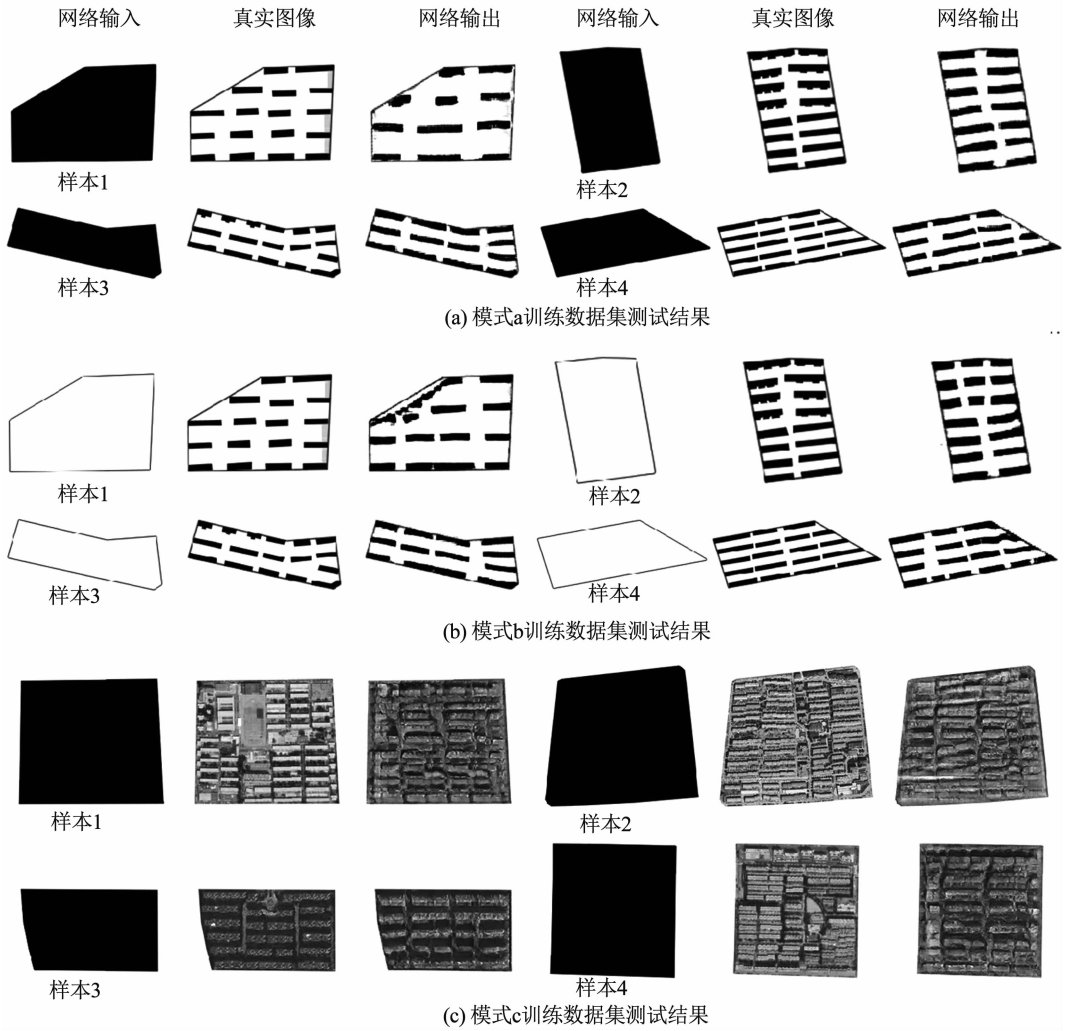


图8 不同模式训练数据集测试结果^[26]

Fig. 8 Test results of training dataset for different modes^[26]

表2 不同模式训练数据集 SSIM 计算结果^[26]

Tab. 2 Calculation results of SSIM in different training datasets^[26]

算法	模式 a				模式 b				模式 c			
	样本 1	样本 2	样本 3	样本 4	样本 1	样本 2	样本 3	样本 4	样本 1	样本 2	样本 3	样本 4
SSIM	0.783	0.969	0.924	0.835	0.797	0.870	0.917	0.821	0.435	0.341	0.710	0.500

3.2 模型训练过程与测试结果

训练数据集共 1 050 张,其中高层居住区训练数据集 350 张,多层训练数据集 450 张,低层训练数据集 250 张. 由于高层、多层、低层居住区 CGAN 模型训练过程较为类似,以低层居住区 CGAN 模型为例进行说明,图 9 所示为迭代 1 次、100 次、200 次、300 次、400 次后的测试结果. 训练过程中,随着迭代次数增加,生成的建筑边缘越发清晰,且形状较规则的居住区所需的迭代计算次数较少^[26].

图 10 为模型训练 500 次迭代后的测试结果,其模型输出较接近真实图像,建筑进深,南北向楼间距与东西向楼间距均为合理尺寸,建筑多呈南北向行

列式布局,高层居住区 CGAN 模型输出的部分图像的轮廓边缘出现灰色、面宽较大的建筑,可用于商业、教育等其他辅助功能用房,而且高层、多层、低层居住区 CGAN 模型的测试结果中建筑日照间距有较明显的区别^[26].

居住区 CGAN 模型测试结果与真实图像存在一定差异,以图 11 为例,由于居住区设计需考虑景观需求,无法最大限度地利用土地排布建筑,使得居住区内留有空地,而模型是以最大限度利用土地资源的方式排布建筑单体,建筑多呈行列式紧密排布^[26].

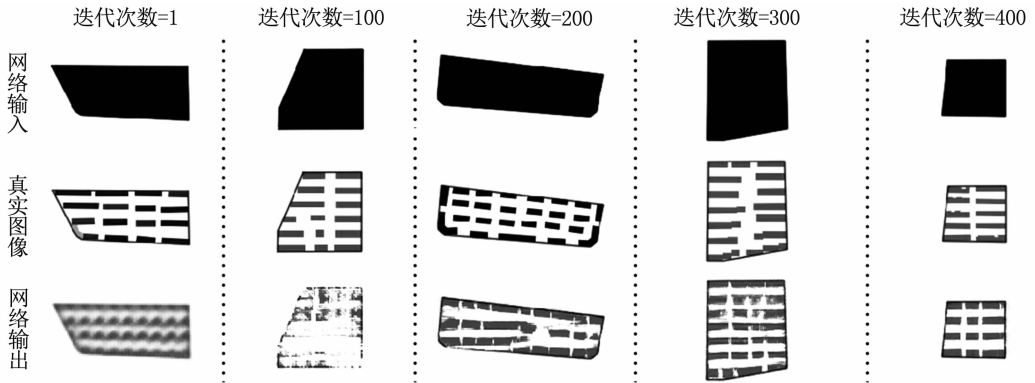


图 9 低层居住区 CGAN 模型各迭代次数下的测试结果^[26]

Fig. 9 Test results for each iteration of low-rise residential CGAN model^[26]

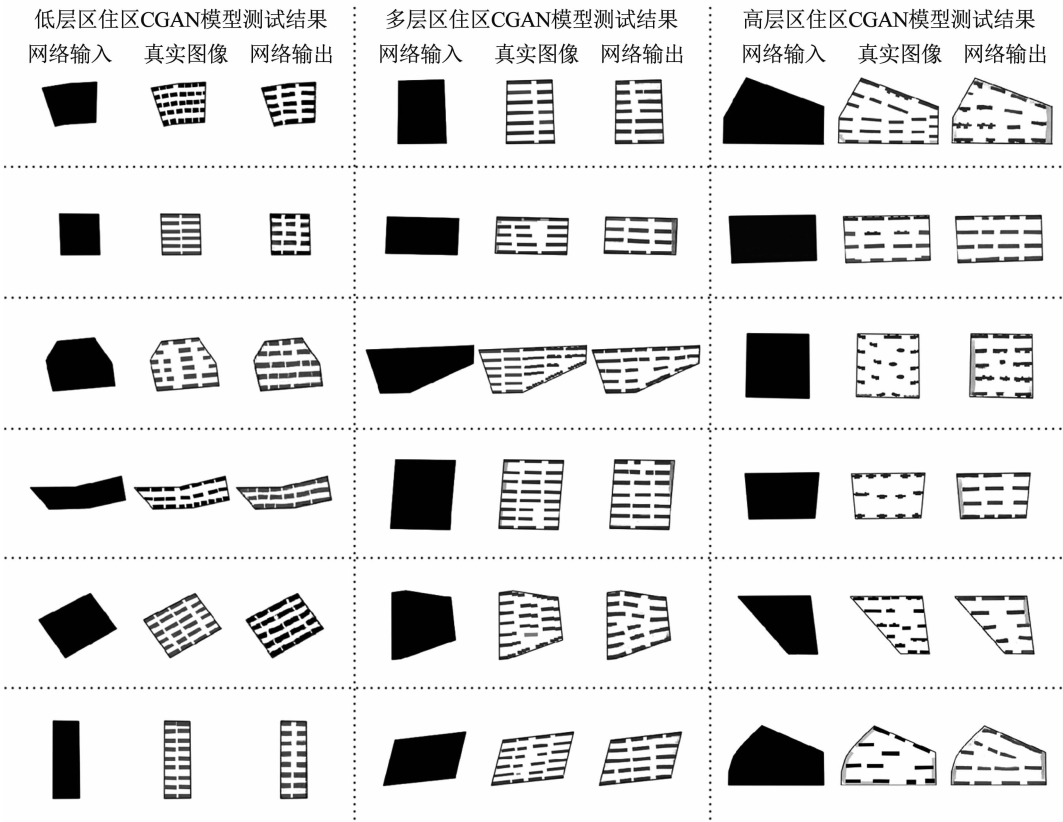


图 10 低层、多层、高层居住区 CGAN 模型测试结果^[26]

Fig. 10 Test results of low-rise, multi-story, and high-rise residential CGAN models^[26]



图 11 代表性样本案例分析^[26]

Fig. 11 Representative sample case analysis^[26]

3.3 居住区强排方案生成设计及验证评价结果

图 12 显示了高层、多层、低层居住区 CGAN 模型生成的强排设计方案,包括模型输出方案及使用参数化建模工具构建的居住区建筑几何模型.对于同一个居住区,构建的 3 个网络模型可生成相应的低层、多层、高层强排设计方案,且生成结果有明显区别,建筑间距随建筑高度增加而相应增大.部分高

层与多层生成方案中边缘区域生成了低层围合式建筑,可用于商服等辅助功能用房.容积率计算结果表明,生成的居住区强排设计方案容积率较高,低层容积率在 0.5 以上,多层容积率在 1.5 以上,高层容积率在 3.0 以上,均属于相应类型居住建筑下的高密度设计方案,有效利用了城市土地资源,可基本满足强排设计要求.

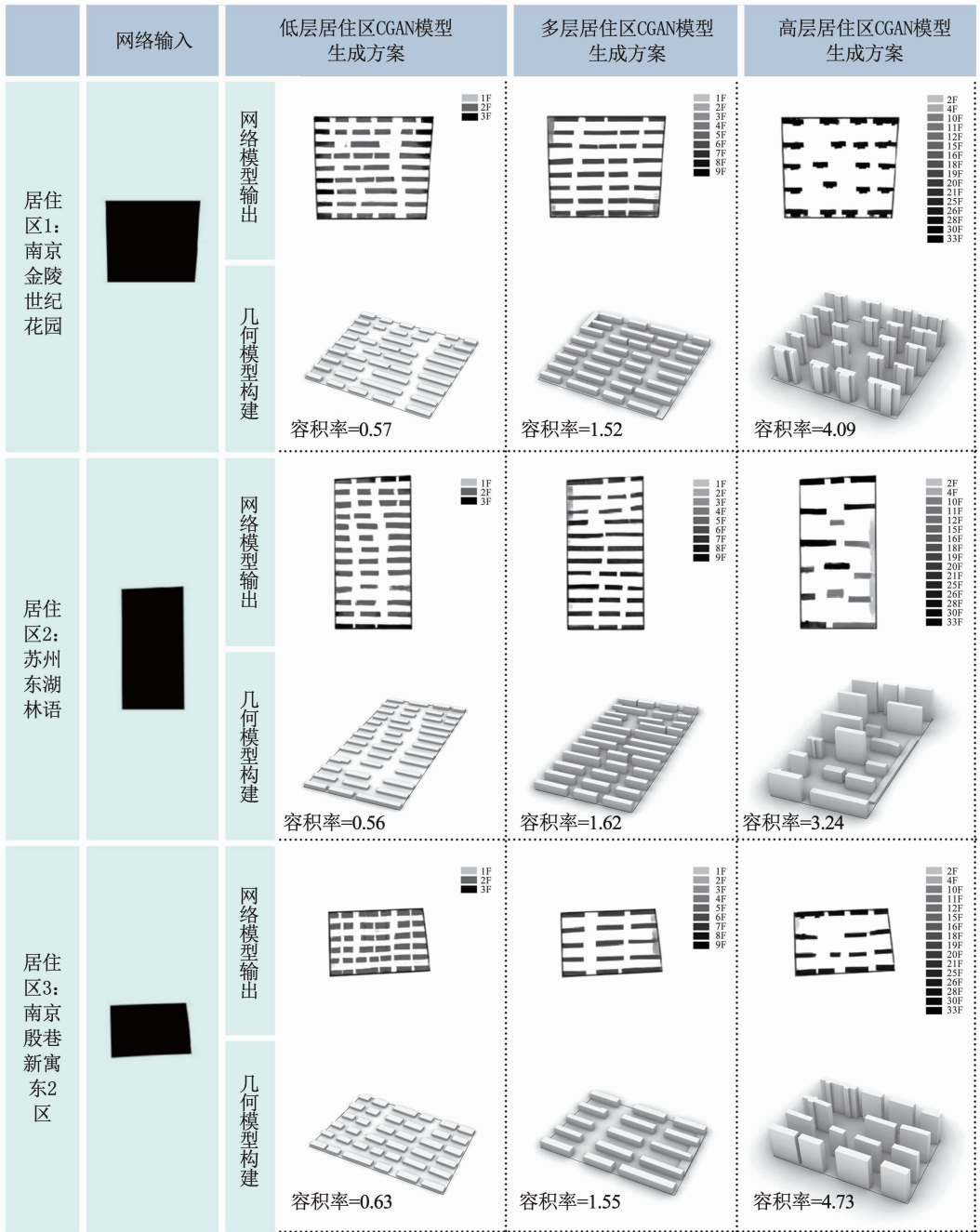


图 12 低层、多层、高层居住区 CGAN 模型生成的强排设计方案^[26]

Fig. 12 Residential forced layouts generated by low-rise, multi-story, and high-rise CGAN models^[26]

日照模拟结果表明:低层居住区方案内的测点可满足大寒日 2 h 日照要求,多层居住区 1、3 方案全部测试点可满足大寒日 2 h 日照要求,居住区 2 方案 96% 的测试点可满足日照要求,而高层居住

区 1 内 93% 的测试点可满足大寒日 2 h 日照要求,高层居住区 2 方案全部测试点可满足日照要求,高层居住区 3 方案 84% 的测试点可满足日照要求。

表 3 低层、多层、高层 CGAN 模型生成方案满足日照要求的测试点比例^[26]

Tab. 3 Proportions of test points meeting sunshine requirements in schemes generated by low-rise, multi-story, and high-rise CGAN models^[26]

方案	低层生成方案			多层生成方案			高层生成方案		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
满足日照要求的测试点比例	100	100	100	100	96	100	93	100	84

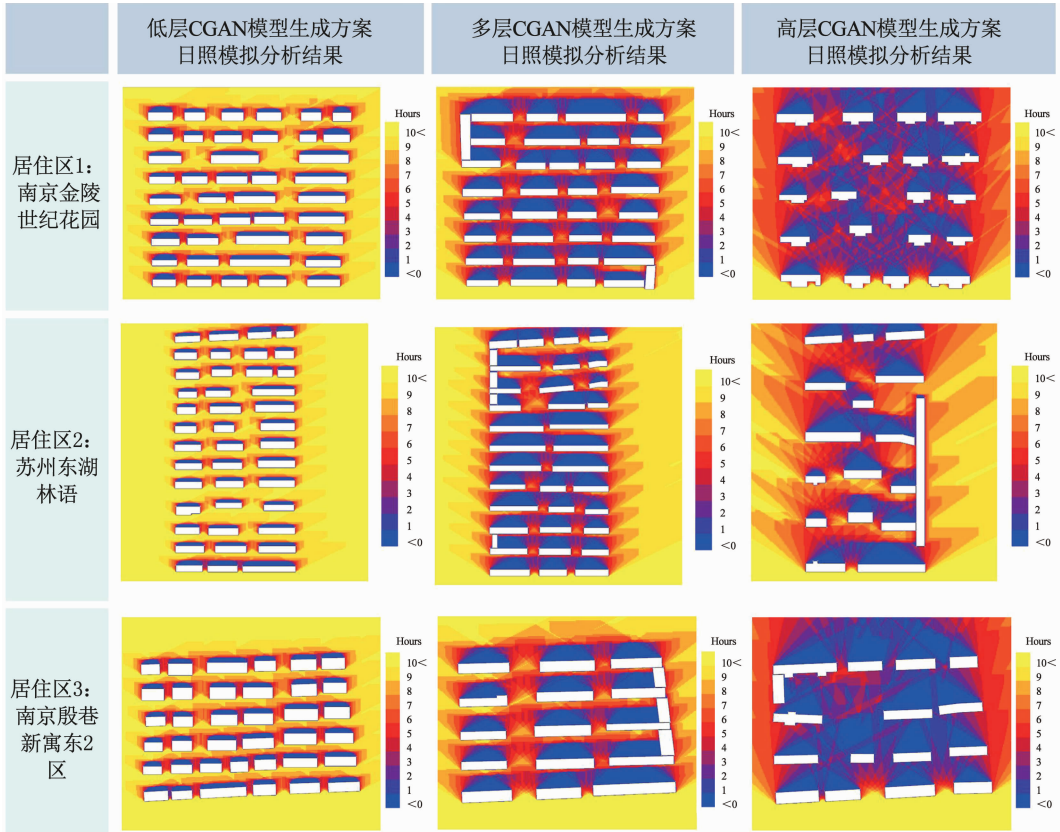


图 13 低层、多层、高层 CGAN 模型生成方案日照模拟分析结果^[26]

Fig. 13 Sunshine simulation analysis results of generated schemes of low-rise, multi-story, and high-rise CGAN models^[26]

4 结 论

研究将深度学习技术应用于居住区强排设计方案的自动生成,提出基于 CGAN 的居住区强排方案生成设计方法.针对不同地区日照间距系数的差异性,选取中纬度城市居住区作为训练数据集样本,通过学习强排方案总平面图中的建筑排布规律,预测其他轮廓居住区对应的强排设计方案.为了验证生成方案的可行性,提出了基于日照模拟分析的验证评价环节.主要结论如下:

1) 结果表明基于所提方法生成的低层建筑设计方案可满足日照要求,多层和高层建筑方案中的大部分空间可满足日照要求,说明所提出的基于 CGAN 的居住区强排方案生成设计方法可为居住区强排设计提供有力支撑.

2) 研究提高了居住区强排设计效率,训练成功的居住区 CGAN 模型可在 3 s 内生成居住区强排设计方案,提高了居住区方案设计效率.

3) 由于训练数据集中规则形状的居住区样本较多,该模型对规则居住区的预测能力较好,可通过扩充数据集来改善该问题.

参 考 文 献

[1] 何琼添. 住宅小区强排方案的规划价值判定研究——以保利强

排项目为例[J]. 建筑与装饰, 2018(11): 32

[2] 李冰瑶. 基于多性能目标优化的住宅规划布局设计方法研究[D]. 深圳: 深圳大学, 2018

LI Bingyao. Research on residential layout design method based on multiple performance objects optimization[D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2018

[3] 孙澄, 韩昫松, 任惠. 面向人工智能的建筑计算性设计研究[J]. 建筑学报, 2018(9): 98

SUN Cheng, HAN Yunsong, REN Hui. A study on architectural computational design oriented towards artificial intelligence [J]. Architectural Journal, 2018(9): 98. DOI:10.3969/j.issn.0529-1399.2018.09.014

[4] 高菲. 基于日照影响的高层住宅自动布局[D]. 南京: 南京大学, 2014

GAO Fei. High-rise residential automatic layout based on sunshine effect[D]. Nanjing: Nanjing University, 2014

[5] 刘凯, 林波荣. 容积率导向的板式住宅排布方案生成方法研究[J]. 动感(生态城市与绿色建筑), 2013(1): 22

LIU Kai, LIN Borong. Study on the method of arrangement generating of plate dwelling oriented by floor area ratio[J]. Eco-city and Green Building, 2013(1): 22

[6] SONG H, GHABOUSSI J, KWON T. Architectural design of apartment buildings using the implicit redundant representation genetic algorithm[J]. Automation in Construction, 2016, 72 (Part 2): 166. DOI:10.1016/j.autcon.2016.09.001

[7] KOENIG R. Urban design synthesis for building layouts based on evolutionary many-criteria optimization [J]. International Journal of Architectural Computing, 2015, 13 (3/4): 257. DOI:10.1260/1478-0771.13.3-4.257

- [8] MOHAMMED M, ALI F, DIEGO N. The evolutionary adaptation of urban tissues through computational analysis [C]//33rd eCAADe Conference-Volume 2. Vienna: [s. n.], 2015: 563
- [9] 李颢, 钱敬平. highFAR 建筑设计生成方法探索 [J]. 新建筑, 2011(3): 99
LI Biao, QIAN Jingping. Exploration of generative method based on MAS for architectural design: highFAR [J]. New Architecture, 2011(3): 99. DOI:10.3969/j.issn.1000-3959.2011.03.022
- [10] 吴佳倩, 李颢. 结构性与进程性策略的算法探索——以低层高密度住区生成设计为例 [J]. 城市建筑, 2018(16): 113
WU Jiaqian, LI Biao. Exploration of algorithms of structural and progressive strategies: taking generative high density residence design as an example [J]. Urbanism and Architecture, 2018(16): 113. DOI:10.3969/j.issn.1673-0232.2018.16.019
- [11] LOMBARDI D, DOUNAS T, ZHANG Chenke, et al. Creating new cities: cellular automata and social condensers [C/OL]//23rd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia. Hong Kong: CumInCAD, 2018:1 (2018-06-29) [2019-12-26]. <http://hdl.handle.net/10059/2977>
- [12] ARAGHI S K, STOUFFS R. Exploring cellular automata for high density residential building form generation [J]. Automation in Construction, 2015, 49(Part A): 152. DOI:10.1016/j.autcon.2014.10.007
- [13] SINGH V, GU Ning. Towards an integrated generative design framework [J]. Design Studies, 2012, 33(2): 185. DOI:10.1016/j.destud.2011.06.001
- [14] 宋清华, 胡杨. 基于生成式设计的居住区生成强排方案研究 [C]//数字技术·建筑全生命周期——2018 年全国建筑院系建筑数字技术教学与研究学术研讨会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 169
SONG Jinghua, HU Yang. Research on generation of forced layout in residential area based on generative design [C]//Digital Technology, Building Life-Cycle: Proceedings of 2018 National Conference on Architecture's Digital Technologies in Education & Research. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018: 169
- [15] 梁培俊, 刘怡俊. 基于条件生成对抗网络的漫画手绘图上色方法 [J]. 计算机应用研究, 2019, 36(1): 308
LIANG Peijun, LIU Yijun. Colorization of manga sketch based on conditional generative adversarial networks [J]. Application Research of Computers, 2019, 36(1): 308. DOI: 10.19734/j.issn.1001-3695.2017.07.0891
- [16] 刘玉杰, 窦长红, 赵其鲁, 等. 基于条件生成对抗网络的手绘图像检索 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2017, 29(12): 2336
LIU Yujie, DOU Changhong, ZHAO Qilu, et al. Sketch based image retrieval with conditional generative adversarial network [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2017, 29(12): 2336. DOI:10.3724/SP.J.1089.2017.16596
- [17] NGUYEN V, VICENTE T F Y, ZHAO Maozheng, et al. Shadow detection with conditional generative adversarial networks [C]//2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). Venice: IEEE, 2017: 4520. DOI: 10.1109/ICCV.2017.483
- [18] ZHANG He, SINDAGI V, PATEL V. Image de-raining using a conditional generative adversarial network [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2017, 30(11): 3943. DOI:10.1109/TCSVT.2019.2920407
- [19] 雷蕾, 郭东恩, 靳峰. 基于谱归一化条件生成对抗网络的图像修复算法 [J/OL]. 计算机工程 (2020-01-15) [2020-03-31]. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0056287>
LEI Lei, GUO Dongen, JIN Feng. Image inpainting using conditional generative adversarial nets with spectral normalization [J/OL]. Computer Engineering (2020-01-15) [2020-03-31]. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0056287>
- [20] ERIK S. Markovian Drift-Iterative substitutional synthesis of 2D and 3D design data using Markov models of source data [C]//36th eCAADe Conference-Volume 2. Lodz: [s. n.], 2018: 113
- [21] NARAHARA T. Collective construction modeling and machine learning: potential for architectural design [C]//35th eCAADe Conference-Volume 2. Rome: [s. n.], 2017: 341
- [22] 刘跃中, 斯托夫斯·卢迪. 基于条件生成对抗网络的城市设计研究 [J]. 杨阳, 译. 建筑学报, 2018(9): 108
LIU Yuezhong, STOUFFS R. Urban design process with conditional generative adversarial networks [J]. YANG Yang, trans. Architectural Journal, 2018(9): 108. DOI:10.3969/j.issn.0529-1399.2018.09.016
- [23] ZHENG Hao. Drawing with bots: human-computer collaborative drawing experiments [C]//Learning, Prototyping and Adapting, Short Paper Proceedings of the 23rd International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia. Beijing: [s. n.], 2018
- [24] ZHENG Hao, HUANG Weixin. Understanding and visualizing generative adversarial networks in architectural drawings [C]//Learning, Prototyping and Adapting, Short Paper Proceedings of the 23rd International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia. Beijing: [s. n.], 2018
- [25] ISOLA P, ZHU Junyan, ZHOU Tinghui, et al. Image-to-image translation with conditional adversarial networks [C]//2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Honolulu: IEEE, 2017: 5967. DOI: 10.1109/CVPR.2017.632
- [26] 丛欣宇. 基于 CGAN 的居住区强排方案生成设计方法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020
CONG Xinyu. Research on generative design method of residential forced layout based on CGAN [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2020
- [27] 陈森. 图像质量评估算法及其应用研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2018
CHEN Sen. Image quality assessment algorithm and its application [D]. Xi'an: Xidian University, 2018
- [28] 雷磊. 城市低层高密度住区外部空间尺度研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2010
LEI Lei. Research on scales of exterior space in urban low rise high density housing communities [D]. Changsha: Hunan University, 2010
- [29] 赵青. 北方山地低层高密度居住区规划设计策略研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2014
ZHAO Qing. The research on planning design strategy of low-rise and high density mountain residential area in north [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014