

基于多智能体与最短路径算法的建筑空间布局初探 ——以住区生成设计为例

张柏洲, 李 彪

(东南大学建筑学院, 江苏南京 210096)

摘要: 随着数字技术在建筑领域应用的不断深入, 生成设计方法逐渐展示出其潜能。生成设计以建筑原型提炼为起点, 以程序算法模型构建为核心, 实现数字驱动下的设计生成, 是建筑设计技术理性与艺术灵感的有机结合。本文通过生成设计的手段, 探索住区规划的自组织生成方法, 基于多智能体系统, 结合 Voronoi 剖分、Dijkstra 寻径等算法, 解决住区规划中地块划分、建筑布局、道路生成等设计问题, 为建筑空间布局的程序算法应用提供参考。

关键词: 生成设计; 住区规划; 多智能体; 地块划分; Dijkstra 寻径算法

[中国分类号] TU201

[文献标识码] A

Exploration on Architectural Space Layout Based on Multi-agent and Dijkstra Algorithm —— A Case of the Residence Generative Design

Zhang Baizhou, Li Biao

(School of Architecture, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract: With the deepening application of digital technology in the field of architecture, generative design gradually shows its potential. Generative design starts with the abstraction of architectural prototype, takes the construction of algorithm model as the core, and realizes digital-driven design. It is an organic combination of technical rationality and artistic inspiration. This paper explores the method of self-organizing generation of residential planning by means of generative design. Based on multi-agent system, Voronoi partition and Dijkstra algorithm, etc., it solves the design problems of plot division, building layout and road generation in residential planning, and provides a reference for the application of program algorithm of architectural spatial layout.

Key words: generative design; residential planning; multi-agent; plot division; Dijkstra algorithm

建筑生成设计通过提炼设计问题并进行抽象量化处理, 借助计算机程序编写的方式, 建立推动设计的相关算法模型, 将复杂的设计进程转化为可执行的计算机程序代码, 最终获得具有指导意义的设计方案, 拓展后续设计与创新的思维平台。生成设计以预设设计规则的程序转译为主导, 提供具有一定合理性的程序生成结果, 是传统设计方法的有效拓展补充^[1]。

住区规划设计问题导向明确, 指标性强。传统住区设计需兼顾容积率、日照需求、户型面积、景观环境等多重复杂因素。先是自上而下地人为划定组团地块, 随后采用错排、环绕等若干典型建筑布局方式, 对住宅位置进行排布, 再根据地块剖分布置路网, 在步骤之间不断进行试错微调, 最终得出设计结果。其中某一步骤的改动将引发其他步骤的连带调整, 导致大量时间被浪费, 而住区生成设计的优势, 在于将多重复杂因素量化转译为程序模块进行组合, 利用计算机强大的运算能力, 应对设计步骤的复杂关联性, 从而提高设计效率。

本文基于东南大学建筑学院住区生成设计课题, 围绕住宅区规划与设计相关问题的程序编码转译展开。住区设计通常可分解为场地划分、道路生成与建筑单体排布 3 个阶段, 在当前相关的研究中, 住区生成设计常以单一算法

为主导, 解决某特定阶段的问题。例如使用物理模拟的方式使柔性“细胞”填充整个场地, 直接获得剖分的地块与路网; 通过多次 Voronoi 剖分, 得到不同层级的地块分区, 地块间隙留作道路, 再根据地块边界生成建筑单体形态。而本文尝试结合多种程序算法模型展开试验, 分别应对住区规划设计中不同阶段的设计问题, 通过搭建连接不同算法桥梁, 形成较完整的程序运算流程, 使设计过程和程序过程交叉并行、相得益彰。

1 住区生成框架与流程

住区设计前期以规划布局问题为主, 包括建筑单体的布局、地块的划分及路网的设计。本文提炼了住区规划设计的诸多原型, 利用多智能体模拟、Voronoi 剖分、Dijkstra 寻径算法等程序模块分别解决上述三类问题, 尝试提供与之相关的综合解决策略。

在整体框架中, 若预先进行宏观地块划分控制, 后排布建筑单体, 则有悖于多智能体系统自下而上的进程性策略特点^[2]。作者认为应当利用其特点, 对建筑布局和地块剖分的自组织可能性进行探索。因此整体程序架构有别于传统住区设计流程, 按照建筑单体排布、地块剖分、道路评价的顺序(见图1), 各步骤既可按顺序运行, 亦可前后

基金项目: 自然科学基金面上项目(51978139); 国家自然科学基金重点项目(51538006)。

作者简介: 张柏洲(1997-), 男, 硕士研究生在读。研究方向: 建筑设计及其理论。

交叉。设计者可以对各模块分布观察、综合评估,以达到最符合预设要求的生成结果。

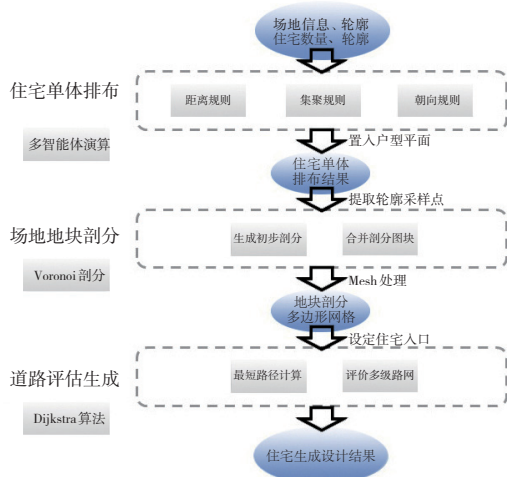


图1 程序流程框架图(图片来源:作者自绘)

2 住区生成设计实验

2.1 住宅单体排布

在住宅场地规划的过程中,住宅单体位置的排布常常受到多种因素制约,如日照间距、景观朝向、地形轮廓、组团集群等,需要通过综合评判兼顾多目标的因子,以获得最终的演化结果。而上述限制要素可以借助多智能体模型,并将各类运算转化为线性向量运算法则:将住宅单体编码为局部规则限定的智能体,设定智能体在特定条件下的运动与更新方法。通过自下而上的方式,模拟住区复杂系统的更新与优化,最终生成住宅区建筑单体的全局排布。

建立多智能体模型,需要将住区设计中的影响因素以向量的方式转译为几何模型,根据向量的几何运算法则,制定多智能体的运动规则。设计师通过对间距控制、景观因素、功能空间需求等目标的转译与整合,制定智能体的限定规则,包括距离规则、集聚规则与朝向规则。距离规则即通过限制几何中心点的平面距离实现住宅的间距控制;集聚规则即通过设定集聚目标的属性与权重,影响几何中心点的运动方向,体现建筑单体对景观的需求;朝向规则即通过权重赋值,改变方向向量的指向,综合评判景观等要素对朝向的影响。

2.1.1 距离规则

住宅单体排布中的距离因素主要包括两部分——单体间的距离、单体与场地边界的距离。住宅设计的日照规范、防火规范等对住宅的最小间距提出了要求;建设红线、场地轮廓形状等因素,则对住宅单体和场地边界的距离提出限制条件。上述设计规则被转译为向量几何运算规则体现于多智能体系统中。

首先,各栋住宅之间需要保持预设的间距最小值 \min_d_1 ;需遍历计算住宅几何位置点两两之间的距离,若该距离小于预设值 \min_d_1 ,则对两位置点施加推开的斥力,即在两点连线方向上对其施加反向推离的向量,直到距离大于等于 \min_d_1 为止;其次,每栋建筑距离

场地边界同样需要预设最小值 \min_d_2 ,同理可计算住宅中心位置点与场地各边点到线的距离,若该距离小于 \min_d_2 ,则在连线方向上施加推离的向量,直到满足要求为止(见图2)。

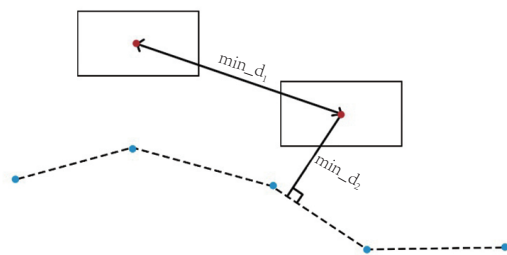


图2 距离规则示意图(图片来源:作者自绘)

2.1.2 集聚规则

在较大型的住区规划设计中,常常有多种住宅种类、多种套型组合出现,出于不同住宅种类组团规模、场地资源、商业经济的考虑,不同住宅种类需要对其进行必要的组团划分,使其有互不干扰的集聚区域。在多智能体系统中,设计师可以对不同类别的住宅编写不同的属性与运动规则,以实现相同住宅种类集聚的目的^[3]。

在本生成实验中,场地中包含高层住宅、多层住宅、联排别墅、独栋别墅四类住宅,其中两种别墅需要享受最佳的临湖景观资源,且套型条件更佳的独栋别墅需更靠近湖岸以保证商业效益,那么在程序编写中,首先需要对场地轮廓中属于湖岸的点进行标记,其次计算每栋别墅的几何中心到各湖岸点的距离,并找到最近点,对此几何中心施加朝向该最近点的向量拉力,这一拉力与距离规则中的场地边界距离斥力相互作用,可达到相对平衡稳定的状态。随后,可设定联排别墅与独栋别墅分界的距离阈值 D ,对于最终距离小于 D 的别墅几何中心点,即可将该点类型信息记录为独栋别墅,其余记录为联排别墅(见图3),后期可以将其置入对应的平面套型。

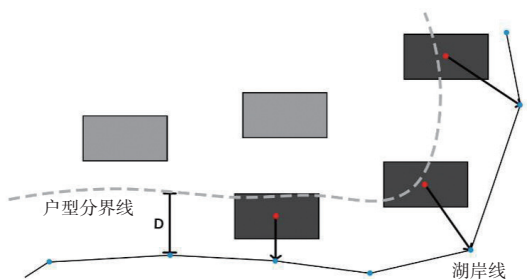


图3 集聚规则示意图(图片来源:作者自绘)

场地中的其他住宅类型可采用类似的集聚规则编制方法进行演算,使不同住宅类型向所需的特殊位置、特殊景观点进行集聚。

2.1.3 朝向规则

在住宅朝向的影响因素中,日照因素常作为主导,但由于景观等要素的存在,住宅的朝向通常并非绝对的日照最佳方向,而是以日照为主、综合其他景观需求得到的折中结果。

在本生成实验中,湖面可作为主要景观影响因素,再结合南向日照,采用加权的方式确定最终朝向。首先,以

正南向作为每栋住宅的初始朝向向量 v_1 ，其次，通过计算得到每栋住宅对应的最近湖岸点后，以两点的连线作为影响向量 v_2 ，再设定 0~1 的比例系数 k ， k 值与距湖岸的距离呈相关性，通过向量加法计算 $v=v_1+k \times v_2$ ，即可得到住宅的最终综合朝向 v （见图 4）。

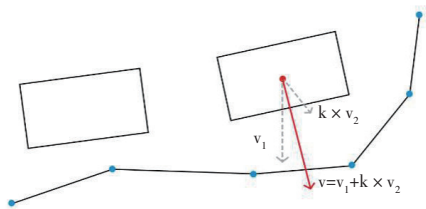


图4 朝向规则示意图（图片来源：作者自绘）

多智能体在规则限定下运动与更新后最终会达到动态平衡的状态（见图 5），获得趋近预设优化目标的住宅单体布局。在此基础上，根据智能体的中心点位置与预先记录的住宅类型信息，嵌入模型库中的套型平面与平面轮廓，最终获得包含类型组团、单体朝向、套型平面信息的建筑总体布局（见图 6）。

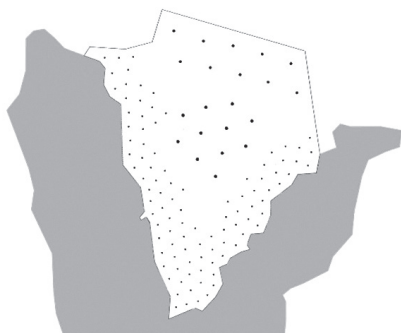


图5 多智能体演算结果（图片来源：作者自绘）

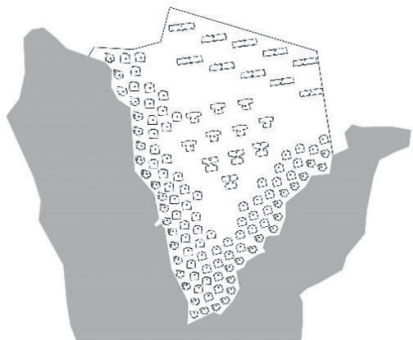


图6 住宅套型置入后的排布结果（图片来源：作者自绘）

随着优化规则的增加和细化，最终生成的住宅平面布局将更加完善与合理。此外，通过多次试验后发现，将规则权重等参数设置的多智能体的相互竞争与权衡中十分重要，若设置不合理，则会出现规则间相互冲突干扰、优化时间过长的情况，甚至降低优化成功率。

2.2 场地剖分

住区设计中的地块划分涉及地块的均好性、便利性等综合因素。在住区生成设计方法中，通常用到如多智能体地块优化、Voronoi 剖分、四边形细分等方法实现住区场地的划分。其中 Voronoi 剖分方法是计算几何学中的一种多

边形划分的经典原型，它是一组由连接两邻点直线的垂直平分线组成的连续多边形。通过 Voronoi 剖分方法，多边形内的任意一点到该多边形的生成点的距离总小于到其他任一生成点的距离，该几何特征与非正交场地的划分需求相契合。在住区场地划分的过程中，通常以建筑中心点作为 Voronoi 生成点，生成的多边形网格可以满足每栋建筑所属地块绝对均好的自主领域需求，形成既有几何理性又有随机美感的地块分区。

但在生成实验的过程中，若仅采用中心点作为生成点进行 Voronoi 剖分，会出现部分建筑外缘轮廓点过于靠近多边形边缘，甚至落在其他多边形内的情况。其设计表征则体现为部分房间过于靠近道路或其他住宅，缺失了必要的私密性和均好性。因此，实验对基本的 Voronoi 图形剖分进行了改进，对各建筑平面轮廓点进行选择性提取，以提取的采样点作为初次剖分的生成点，随后将属于同一建筑的初次剖分地块进行合并，得到新一层级的地块，从而得到每栋建筑的专属领域。

2.2.1 轮廓采样剖分

住宅套型的平面轮廓一般是由多个点构成的多边形，平面模型在置入计算机程序后，保留各顶点的坐标数据，因此可针对不同复杂程度的平面选取一定数量的、能够描述平面形状的采样点作为 Voronoi 的生成点。通过现有算法库提供的 Voronoi 生成方法，得到较为复杂、细碎的初步剖分图（见图 7）。



图7 建筑轮廓采样点初次剖分（图片来源：作者自绘）

此外，在此步骤中还需建立各建筑中心点与采样点的引用关系，以及采样点与所属 Voronoi 多边形图元的引用关系，由此可建立数据连接，记录每栋住宅所“拥有”的多边形信息，为地块合并提供充分条件。

2.2.2 获得单体领域

初步剖分图所表现出的结果是建筑轮廓各采样点所属的地块领域，此步骤则需要将同一轮廓下的 Voronoi 图元相应合并，使每个住宅平面轮廓获得最终的总体领域。在程序中需依次访问每个住宅的位置点，再依次访问每栋住宅所选取的采样点及其对应 Voronoi 图元，将每栋住宅各自关联的若干图元进行布尔联合运算，得到合并后的新剖分图（见图 8）。

随后，使用算法库中的 mesh 网格生成方法，使剖分图中相互独立的不规则多边形地块，整合成邻边、邻点、邻面之间相互可引用的 mesh 网格，为后续道路评估系统提

供数据基础。

生成结果表明,通过运用改进后的Voronoi剖分方法,每栋住宅单体与所占据的新地块之间不会出现边界距离过近的情况,且合并后的图形仍保留一定的Voronoi几何特征。住宅单体获得了与其功能类型、场地环境需求及交通便利需求相适应的自主领域。除了基本的场地剖分以外,边界控制、形状优化等需要更加深入的设计。本文所提供的Voronoi剖分改进方案为住区场地划分提供了一种可行的参考。

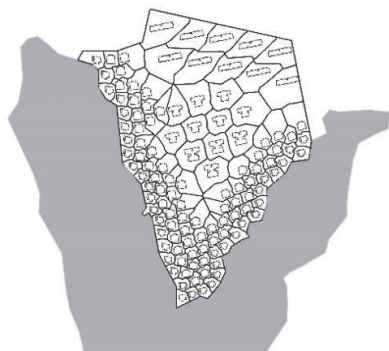


图8 合并运算后得到建筑单体领域(图片来源:作者自绘)

2.3 道路评估与生成

住区场地中的道路划定具备两种特性:一是等级性,住区道路通常被划分为居住区级别的主要道路、组团级别的次级道路、入户小路,不同等级道路的形态要求、人流通过率存在差异,在生成设计中需要根据各段道路的通过率对其进行评价划分;二是便捷性,在满足建筑单体领域需求的基础上,住区道路与建筑单体之间的连接通达性非常重要,要求住区道路尽量以最短路线连接住户和小区出入口、主要公共设施等节点。

上述两种特性有可应用的算法原型,其中使用较为广泛的是Dijkstra寻径算法。此算法解决的是有权图中的最短路径问题,即在任意形态的路径网格中,给定起点与终点,能够根据两点之间各网格边的距离属性加权,计算出唯一的最短路径^[4],进而根据每段线段上叠加的最短路径数量评判其通过率和路网等级。场地划分与道路生成相辅相成,住区道路与地块之间互为阴阳,因此本生成实验在前述场地划分结果的基础上,评估由场地入口到建筑单体的沿地块边界的流线通达性,通过流量的叠加确定道路等级。

2.3.1 寻找入户路径

在本生成实验中,在场地mesh网格中选择东北角与西北角两顶点作为住区出入口所在的位置点,从该点出发,遍历计算该点和相邻顶点的距离权重,寻找距离其最近的相邻顶点,再从最近邻点计算寻找下一点,并不断进行总距离比较,循环迭代,最终可计算出到达各个地块的最短路径。

Dijkstra寻径方法为寻找设定点间的沿网格分布的最短距离,由于同一地块的不同顶点到住区出入口的距离不同,因此通过对比主入口到目标地块各顶点的距离长度,

选择总距离最短的唯一顶点,与主入口进行连接,作为整体的最短入户路径。

2.3.2 确定多级路网

计算出小区主入口到各地块的最短路径后,该路径则被定义为理想路线。继而,对各个理想路线进行记录和叠加,根据各线段上叠加的路线数量即可评价推荐该线段的路网等级。叠加数量越高,说明该线段能够为更多的住户提供便捷的道路,反之则说明提供的便捷性有限,不宜作为主要道路,甚至不适合设置道路。

通过对各理想路线调整显示透明度,可较为直观地观察到各线段上的流量情况(见图9)。叠加颜色越深的线段通行率越高,适合作为住区的主要道路,满足更多住户的通行需求;反之,叠加颜色浅的线段适合作为次级道路,而部分通行情况过低的线段可忽略其道路作用。

Dijkstra的最短路径算法为住区道路的评价推荐提供了一种方式,本实验依据最基本的距离长短因素对道路进行了叠加和分级,但在住区道路规划中除了距离长短,还需考虑特定的连接需求、形态需求,例如部分道路需要趋直,部分道路需要呈环状等。这些需求与距离要素相同,均可转化为Dijkstra算法中的加权要素,根据不同要素权重大小得到满足设计目标的理想路径,并将其调节到最理想的结果。

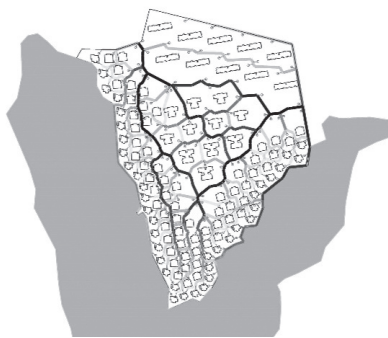


图9 最短路径示意图(图片来源:作者自绘)

3 结语与展望

在上述生成设计的实验中,住区设计中3个阶段的设计问题通过不同的算法搭建得到了一定程度的解决。首先,建筑单体根据多智能体规则的限定,完成了兼顾距离控制、组团集群、朝向优化的自组织排布;其次,通过改良的Voronoi地块剖分方法,基于建筑单体的平面轮廓生成了各住宅单体的相对均好领域;最后,场地道路通过Dijkstra寻径算法的评估,显示出较为明确的布局形态和等级区分。本实验结果为设计者提供了算法驱动下的住区生成设计参考(见图10、图11)。

但此生成实验的算法参数调整和规则制定仍有待进一步优化与改善,例如增加和细化多智能体运动规则、改善Voronoi地块的不规则形态、调整路网生成的形态与连接关系等,这些优化改善的可能性为住区生成实验提供了灵活的调整空间,生成实验框架可以根据不同的设计需求不断更新,解决更全面、更复杂、更具体的设计问题^[5]。住区生成设计作为建筑空间布局探索的设计手段

(下转第20页)

车道,保障非机动车路权及通行安全。其次在人行道上利用行道树组成设施带,将市政设施迁移至设施带内,释放人行道空间。

4.2.4 凸显慢行交通空间

将独立非机动车道铺装改为彩色沥青,凸显非机动车路权;五大道街区内人行道较窄,当主要交通方式由机动车转换为非机动车时,可利用树穴之间空间设置非机动车停车区,避免非机动车随意摆放阻碍行人;行道树树穴可设计为与人行道等高且设置树篦,使人行空间最大化。

4.2.5 加强慢行交通的人性化管理

增加街道公共座椅和公共卫生间数量,对现有的市政设施进行维修和保养,提升慢行交通使用的舒适感和安全感。构建富有特色的指引系统,为民众提供连续有效的指引服务信息,服务日常和旅游出行,提供“安全、便捷、舒适”的慢行环境。

5 结语

五大道建筑单体外围的公共空间对历史街区的性格特征有很强的塑造作用,而慢行交通承载居民日常生活和公共活动,是向外界展示街区特色的重要渠道,解决五大道慢行交通中的问题,对于激发街区空间活力至关重要。在解决问题的过程中结合城市功能和历史价值,使其相互协调有机统一,有助于促进历史街区空间活力的复兴和可持续发展。

参考文献

- [1] 陈钢亮,任道,唐建新,等. 历史文化街区慢行系统的活力再生对策研究[A]. 中国城市规划学会城市交通规划学术委员会. 创新驱动与智慧发展——2018年中国城市交通规划年会论文集[C]. 中国城市规划学会城市交通规划学术委员会:中国城市规划设计研究院城市交通专业研究院,2018:8.
- [2] 李婧,余水仙. 慢行系统的居住型历史街区复兴策略初探——以上海衡复风貌区为例[J]. 住宅科技,2018,38(1):18-22.
- [3] 雷诚,李锦. 基于健康促进的支持性步行环境设计研究——以苏州环古城河步道改造设计为例[J]. 中国园林,2019,35(12):63-67.
- [4] 张译. 基于历史街区的慢行交通特性研究[D]. 西安建筑科技大学,2014.
- [5] 赵永浩. 从历史街区公共空间改造到历史街区活力复兴[D]. 天津大学,2007.
- [6] 董瑞曦. 五大道历史文化街区步行环境优化研究[D]. 天津大学,2014.
- [7] 刘勇,赵智华,杨贝贝. 空间活力重塑视角下历史文化街区步道空间设计研究——以西安兴善寺西街为例[J]. 城市建筑,2019,16(31):55-57.
- [8] 陈喆,马水静. 关于城市街道活力的思考[J]. 建筑学报,2009(z2):121-126.

(上接第10页)



图10 住区总平面图(图片来源:作者自绘)

之一,摆脱了传统设计仅依靠形态模仿、布局参照的模式,以算法模型驱动设计演化,为住区设计提供新的思考方式,推动住宅区的规划与设计方法向更系统与更持续的方向发展。



图11 住区鸟瞰图(图片来源:作者自绘)

参考文献

- [1] 李飏. 算法,让数字设计回归本原[J]. 建筑学报,2017(05):1-5.
- [2] 吴佳倩,李飏. 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):113-116.
- [3] 刘韵卓,梅洪元. 自组织视角下的集群形态空间设计方法——贵州义龙秋水湖城市设计探索[J]. 城市建筑,2018(25):114-116.
- [4] 李飏,郭梓峰,季云竹. 生成设计思维模型与实现——以“赋值际村”为例[J]. 建筑学报,2015(05):94-98.
- [5] 宋靖华,王亚琦. 实验性建筑生成设计课程教学实践[J]. 新建筑,2017(6):126-130.