

基于蒙特卡洛树搜索的产业园建筑自动布局方法初探

曹舒琪

南京大学建筑与城市规划学院

DOI:10.32629/bd.v4i2.3123

[摘要] 蒙特卡洛树搜索(MCTS)是一种基于树结构的可以兼顾探索和优化的搜索算法。利用MCTS方法实现产业园区布局生成,相比启发式优化算法具有更快的优化速度,相比多智能体系统能探索到更多样的方案。使用能快速生成多样方案的生成工具,可以替代设计中繁复的试错环节并为建筑师提供多结果的生成和比较,从而进一步为方案的后期深入提供参考。最后,本文通过布局实验证明工具有效性,并对MCTS方法在建筑设计中的潜力加以讨论。

[关键词] 建筑群体布局; 空间分配问题; 建筑生成设计; 产业园区; 优化搜索

1 背景

产业园区通过整合各类生产资源,形成了产业集群效应,成为城市经济增长的有力引擎。在产城融合的大背景下,功能单一的传统产业园区进一步整合生产、办公、居住、商业等各类功能空间及其配套设施,蜕变为职住平衡、功能复合的新型产业园区,在更集约化地利用土地资源的同时,也为园区注入了凝聚力与活力。但是,复杂多样的功能类型和更高的资源利用要求也大大提高了产业园规划布局的难度。依托计算机强大的计算和存储能力,自动布局工具能够在复杂的约束条件下快速生成多种可行方案,并通过比较筛选出更高质量的结果,作为设计师深化设计的参考。这种工作模式不仅能让设计师从繁复的设计尝试工作中解脱出来,还可以用来探索土地利用效率的上限。

在建筑群体自动布局问题中,各类元启发式优化算法一直是首选技术,尤其是遗传算法几乎占据了国内相关研究的半壁江山,另一半则是多智能体系统。诚然,优化算法是解决布局问题的有效方法,但这些技术在处理大量对象时往往效率低下^[1],难以在短时间内找到符合要求的方案。当需要排布的建筑群体规模较大时,多智能体系统的自组织调整方法是相对高效的,但是我们也必须指出,这种自组织调整的方式是“局部搜索”式的,最后得到的方案十分依赖模型的初始状态。因此,遗传算法和多智能体系统或许并不是建筑群体自动布局工具的最佳选择。

适用于真实设计场景的自动布局工具应有以下三个特点:首先,布局结果符合规范要求且质量相对较高,在结果合理的基础上避免过多的人工选择工作;然后,速度要足够快,从而在可容忍时间内可以探索到更大的解空间,良好的交互体验也依赖于系统的即时响应;最后,结果要多样,能提供广阔的设计视野才是自动布局工具的真正优势所在。结合元启发优化算法和多智能体系统,我们在Rhino&Grasshopper平台上使用C#语言开发了产业园自动布局工具,该工具基于蒙特卡洛树搜索的原理,在满足上述三个要求的基础上,该方法还有较好的拓展性。

2 基于蒙特卡洛树搜索的群体布局方案生成

蒙特卡洛树搜索(MCTS)是当今高水平计算机围棋程序普遍采用的较优方法。这是一种基于树数据结构的,在搜索空间巨大仍然比较有效的搜索算法。MCTS的核心思想是通过一种较为高效的搜索策略搜索到价值更高的子树,同时通过兼顾探索和优化避免陷入局部最优解^[2]。AlphaGo就使用了MCTS。

我们将建筑单体在场地中的逐个排布类比于围棋游戏中落子对棋盘空间的占据,则MCTS表现出适用于排布生成的潜质:首先,MCTS采用随机采样的方式搜索,全局搜索建筑单体可以放置的位置,相比遍历的方式更为高效;第二,MCTS采用剪枝策略,建筑单体被放置后占据一定的空间位置,再结合其他条件的限定,后一建筑单体的可放置区域会快速缩小;第三,

现实中的场地是连续的,在某一点处的采样结果可以向临近区域传递,从而快速建立起场地的全局特征;最后,基于树型结构,可以对搜索过程和结果的记录和存储,方便方案的查找和修改。此外,蒙特卡洛树搜索可以结合反向传播技术实现搜索优化过程的强化学习,从而形成高效的搜索结构而非仅仅输出一个最优化的结果。

3 产业园群体布局问题研究

产业园自动布局工具应对的是规模为1-100hm²的产业园规划任务,具体为建筑、道路和绿地等内容的总平面图布置工作。在这一规模的规划任务中,通常需要通过组团组织功能形式多样的建筑单体。为实现更高效率的生成,自动布局工具需要首先对场地进行区域划分,确定了大致的空间组织关系后再进行建筑单体的排布。

3.1 场地区域划分

产业园通常用车行道路划分组团区域,所以场地划分需要考虑场地出入口和道路连通性。Voronoi是剖分建筑地块的常用方法^[3],但是直接使用Voronoi剖分的区域均为凸多边形,不能提供更为多样有机园区组团形式,在许多地形中道路组织也不够合理。本文使用Voronoi图将场地离散为面积较小但大小均匀的细分单元,利用计算Voronoi过程中得出的Delaunay连接,生成细分单元之间的连接关系图;然后,使用多根节点随机搜索赋值的方式,快速分配组合细分单元为初步符合场地出入口位置和各区面积分配设定的连续子区域,这种方式可以产生足够多的初始种群;最后,从初步结果中筛选出道路系统合理的结果,并通过进化式的调整进一步优化各组团形态。

3.2 建筑单体的定义

在场地划分的基础上,产业园布局设计亦有进一步剖分地块后依据轮廓生成建筑体量和摆放预设的形状的建筑单体两种策略。本文选择摆放建筑单体的策略,将建筑单体定义为具有属性和方法的对象,使单体在调整的过程中可以保持其功能所需的形状尺寸,但在整体的排布形式上,这种方法具有更高的自由度,可以生成更多样的排布结果。

产业园区中建筑单体功能类型和形式比较多样,即使是以办公功能为主的科创产业园,同一园区内的办公建筑就可以有独栋办公、双拼办公、多层研发中心、高层写字楼等多种规模,其中多层和高层办公楼又可以有点式、板式、L型、C型等不同形式。此外,产城结合的产业园区需要配备人才公寓、商业空间、展示中心、园区活动中心等多元化的功能空间。

在基于MCTS的自动布局工具中,建筑单体基于其基准坐标定义,对象属性既包括定义建筑体量的底面形状(根据需求被抽象为矩形或L形等)及建筑高度,也包括建筑功能、层数及层高分布、建筑出入口位置等细节信息,对象方法包括对建筑间距的判断规则及一些排布关系的约束规则,用于收缩建筑单体摆放的搜索域。

3.3 建筑单体的排布过程

在被划分好的组团区域中,场地被细分为储存有权重信息的点阵,由于组团面积一般在 10hm^2 以下,1m是可以兼顾效率和精确性的细分度。建筑单体被有顺序地放置入场地,以未放置任何单体的场地点阵为蒙特卡罗搜索树的根节点,点阵中的每个节点都可以作为下一状态的潜在子节点,当单体放置后展开该子节点,并创建当前放置状态的权重点阵,父节点权重点阵不被更新,子节点不被采样时不会被展开,以节省计算空间。创建初始的点阵权重都是均匀分布的,在排布前执行预设的排布规则对权重点阵进行更新,并剪除不可能参与摆放的节点。排布过程中,权重地随机采样100个测试点,对每个采样点都评估摆放结果,以泊松分布更新该点及邻近域内的点的权重信息,但只选取评价价值最高的节点继续展开放置。若100个测试点都不能实现放置,则设置惩罚规则更新父节点该点及其邻近区域权重,父节点进行重新采样。下一单体的放置重复这一过程,直到所有单体被成功放置,此时整体评价该方案性能价值,并将结果的价值信息以更高的权重,反向更新各节点权重点阵。

4 布局实验

4.1 布局实验设置

使用真实场地测试该自动布局工具的有效性,该场地位于浙江省杭州市,用地面积略小于 300000m^2 ,规划开发为科技创新园区,以办公为主要功能,周边地块被规划为住宅、商业、绿化和工厂用地,但暂未建设。园区中需排布独栋办公($20\text{m}\times 20\text{m}\times 4.2\text{m}\times 4$ 层;面积配比5%),研发双拼($38\text{m}\times 20\text{m}\times 4.2\text{m}\times 4$ 层;面积配比10%),多层研发中心($40\text{m}\times 24\text{m}\times 4.5\text{m}\times 5$ 层;面积配比10%),企业孵化器($50\text{m}\times 24\text{m}\times 4.5\text{m}\times 11$ 层;面积配比33%),高层写字楼($45\text{m}\times 44\text{m}\times 4.5\text{m}\times 23$ 层;面积配比33%),人才公寓($65\text{m}\times 23\text{m}\times 3.6\text{m}\times 14$ 层;面积配比9%)等六种规模不等的建筑单体。

排布需符合《杭州市城市规划管理技术规定》(试行)2010版的要求,容积率不大于3.5,建筑密度不大于40%。规范关于边界约束和建筑间距的约束判断条件复杂,在布局工具中,这些规则统一内置在建筑单体类中,根据实例化的不同对象使用不同的规则。除了规范约束,设计任务还要求布局对外考虑与周围地块的组织关系,对内布局规整紧凑,并避让流经场地的河流景观。



图1 实验场地

4.2 实验结果

该场地曾使用多智能体系统进行排布测试,平均的方案生成时间为7分钟^[4]。相对于智能体系统的实验,本文实验需排布更多的建筑产品类型和数量,使用更复杂的约束条件,且占地面积和容积率的要求也更高。本实验工具运行了1小时,生成了763个有效结果,平均每个方案的生成时间为5秒。这些结果在指标检测中符合要求,且在视觉上合理多样。在有效结果筛选出28个结果和数据如图2所示。

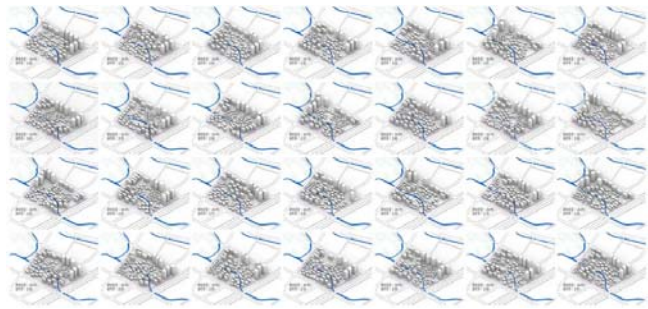


图2 实验结果

5 总结

该自动布局工具在产业园规划设计任务中,实现了快速生成多样有效结果的目标,结果和数据对后续的深化设计工作具有参考意义。有机划分组团排布-评价筛选的自动设计流程,在提高组团组织效率,避免大量无效结果的基础上,保留了设计的多样性。该自动布局工具使用的MCTS,也被证明是一种有潜力的建筑群体自动布局方法,不仅可以实现快速生成、记录搜索过程,还具有启发式优化算法的特征,甚至具有结合机器学习进一步提高优化效率的潜力。

虽然MCTS是一种非常成熟的搜索算法,然而这一方法在建筑群体排布中的应用仍处在探索阶段。我们在实验中也发现了一些问题,例如,这是一种依赖于先后顺序的搜索算法,且先后顺序对搜索效率影响较大,目前确定放置顺序仍需人工调试。另外,1m的细分度虽然可以兼容计算效率和计算精度,但仍需占用大量计算资源,接下来的研究中,我们将会尝试使用函数拟合的方式记录权重信息。

[参考文献]

- [1]魏玛·托马斯,邓肯·诺亚,中田正木,等.快速且可扩展的基于位置的布局综合[J].IEEE可视化与计算机图形学汇刊,2018:1.
- [2]杰利·凡·艾克,简·拉蒙,等.指导蒙特卡罗树搜索学习环境中的规划[J].机器学习研究杂志,2013(29):33-47.
- [3]迪伦堡·本杰明,布拉赫·霍维斯塔特,马库斯·卢德.建筑设计作为质量和成本之间的个体折衷:一种在固定成本和质量控制下自动生成建筑的通用方法[C].2009年第13届国际CAAD Futures会议论文集,2009:458-471.
- [4]张馨元.基于多智能体的建筑群体自动布局研究——以产业园为例[D].南京大学,2019.

作者简介:

曹舒琪(1994—),女,山东济宁人,汉族,南京大学建筑学在读研究生,专业方向:数学建筑。