

DOI: 10.13791/j.cnki.hsfwest.20140603

郭梓峰, 李 颺. 建筑生成设计的随机与约束——以多智能体地块优化为例[J]. 西部人居环境学刊, 2014, 29(06): 13-16.

建筑生成设计的随机与约束^{*}

——以多智能体地块优化为例

The Random and Constraint in Architecture Design

—Taking the Optimization of Multi-Agent Plots as an Example

郭梓峰 李 颺 GUO Zifeng, LI Biao

摘 要 计算机在建筑设计中的功效一方面体现为辅助制图、场景表现以及指标测算等;另一方面其强大的计算能力与辅助设计潜能依然有待发掘。文章以地块演化为例,探索基于规则与目标函数的地块优化及其自生长模型,各地块在彼此利益博弈中达到全局优化。该算法可扩展至建筑学科的其他层面,为建筑设计提供新的探索方向。

关键词 建筑设计;生成设计;多智能体;平面布局

Abstract: In architectural design, computer has become a powerful tool, and is deeply relied in areas such as CAD drawing, 3D modeling and datum calculation. However, the potentials of calculation and design assistance of computer in architecture are still remained to be developed. Thus, a case that shows the optimization of plots is presented in this paper to discuss algorithms that realize self-growth model of plots and global optimization among the competitions between each other based on rules and objective functions. The algorithms can be expanded and employed to other fields of architecture, and may provide new architectural methodologies.

Keywords: Architectural Design; Generative Design; Multi-Agent System; Plan Layout

0 引 言

围绕计算机能否进行设计的争论一直存在,生成设计并非通过程序算法取代设计师,而是设计师思维模式的延伸:运用程序与算法,扩大建筑问题的“解空间”并迅速收敛^[1]。其设计过程表现为随机与约束并存而结果筛选依据特定规则。利用计算机强大的计算能力,复杂问题可以借助简单的原理得到解决。文章以地块布局程序生成为例,探索设计师主导算法规则的生成设计操作方法。在得到合理生成结果的同时,实现建筑问题和算法原型的同构。

1 相关研究

随着算法技术和计算几何图形学的不断探索与进步,涌现出诸多与建筑学相关的生成设计案例。大量算法模型,如细胞自动机、遗传算法和多智能体等均得到了运用。利用生成设计解决基本建筑问题,如平面布局、交通流线、拓扑功能、日照等原型。2007年东南大学生生成设计小组的“Cube1001”^{[1]105-118}案例,通过三维细胞自动机模型,虚拟基地的全面布局优化,包括采光、建筑密度以及建筑上下层之间的交通问题均有深入探索;“Gen-House2007”^{[1]231-240}案例则以多智能体多边形自组织为核心,通过定义建筑平面功能拓扑关

中图分类号 TU311.41

文献标识码 B

文章编号 2095-6304(2014)06-0013-04

^{*} 国家自然科学基金资助项目(51478116)

作者简介

郭梓峰:东南大学建筑学院,硕士研究生,
1281224531@qq.com

李 颺:全国建筑数字技术教学工作委员会副主任;东南大学建筑学院,数字技术建筑运算与应用实验室主任,副教授,博士生导师



图1 通达性与连接性

Fig.1 accessibility and connection in traffic system

系(功能泡泡图),矩形智能体在平面内不断相互推移与挤压,力求在满足功能拓扑关系的同时得到最优的平面布局结果。

上述案例均在程序算法探索达到一定的深度,但依然具有一定局限:细胞自动机只能针对正交网格操作,使得其不论设计操作方式,还是生成设计成果均与真实的城市、建筑有一定差距,难以在实践中应用。与细胞自动机相比,多边形自组织更加灵活,更适合于处理复杂的建筑学问题。然而,复杂的数学运算是限制其发挥效能的最大瓶颈。例如,多边形之间的相邻关系在视觉上可能显而易见,但程序却需要进行大量的数学运算与碰撞检测,这造成生成设计进一步深化的技术困难。因此,在降低算法实现难度的同时提升优化效率及方法可扩展性,便成为主要的研究目标之一。

2 平台构成

计算机程序无法直接理解并处理建筑问题。因此,利用算法进行生成设计,需要将相关的建筑学问题抽象为计算几何问题,并通过计算机语言编程实现。对于不同类型的建筑设计,其主要问题也不尽相同。在地块布局设计中,地块的组织与划分、交通流线的组织以及建筑单体的朝向布局是该研究的首要课题,与之相对应

的原型分别为“半边”数据结构(Doubly connected edge list)^[2]、最短路径和场力(Field Force)。

2.1 半边数据—地块系统

作为若干独立的智能体,各地块的优化进程会对其相邻地块实时产生影响,用于该部分算法的运行效率对优化过程至关重要。在程序实现中,地块之间的数据组织放弃了实现难度较大的多边形结构,而采用了“半边”数据结构。该结构具有“无缝”的特点:相邻的地块共同引用一组顶点和若干条边。边界引用导致地块的边界“相互粘连”——任意地块发生变化都会通过这些引用影响到相邻地块。该特点避免了程序的重复运算,并且加快了地块彼此之间的搜索过程,大大提高了优化执行效率。

2.2 最短路径—交通系统

“半边”的无缝性使得道路系统将被抽象为地块间无宽度的线条。换言之,所有地块之间的公共边均可以看作潜在的道路。在实际设计当中,交通系统的设计往往着重于解决“连接性”和“通达性”两个问题。连接性即实现两点或多点之间的交通连接,通达性则是实现所有地块均可以到达(图1)。此类问题已经有相关成熟算法可以应用,如Dijkstra算法^[3]。

随着地块优化的进行,被地块引用的顶点和边的位置也不断演化,这意味着寻径过程并非一个静态过程。通过制定规则,例如在地块优化时应尽量保证道路呈直线型,交通系统将对地块优化施加回馈影响。

2.3 场力—肌理系统

计算机程序中通常使用向量描述建筑朝向,场地中建筑的朝向受多种因素共同作用,例如日照、景观、地形、主要交通、重要建筑等。其作用机理可以抽象为要素限定下域(Field)中向量大小和方向的计算,即场力。

场力是仅由空间位置决定的力,将周边环境抽象得到域,基地内不同位置在其作用下将有不同的场力方向。例如,位于山坡上的基地,山坡的坡度和等高线走向构成域,基地内的场力受其影响呈背离等高线的状态,使得建筑朝向垂直或平行于等高线(图2)。

现实中的大多数要素均可抽象成域的概念。例如重要标志物可以抽象成为一个吸引点,周围的建筑都朝向于它;村落中的祠堂如同固定方向的力,使周围一定范围内的建筑与它保持一致的朝向;河流附近的建筑都依照河流的走向建造等等。

3 规则制定

设计平台着眼于问题的筛选与提炼,而规则主要针对问题的程序解法。规则的引入将从结果层面验证设计问题的选取是否到位及其抽象方式是否合理。在具体的操作中,二者都需要利用计算机语言进行编程实现,后者的程序工作则立足于前者的分析基础。

地块优化着重于探索地块的自组织与划分,引入面积控制、朝向、形状和流线等具体规则,每个规则植入可调整权重系数。在优化过程中,地块的顶点不断尝试随机移动,若移动的结果满足所有规则或者不满足规则但较移动之前有改善,则该次试错的结果将被保留并置入下一轮的优化;否则该次尝试的结果将被丢弃,如此不断循环往复(图3)。随机的尝试不受控

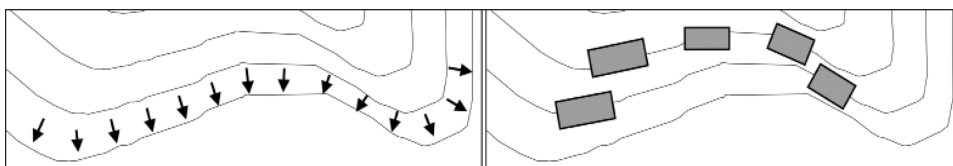


图2 等高线场力与建筑布局

Fig.2 the field forces of contour and its effect on building layout

制,而规则将引导优化的进程方向,直至得到理想的结果。

3.1 保持面积规则

不同地块通常由于其功能差异而具有不同的面积需求,面积保持规则保证在优化过程中,各地块保持其面积处于预设浮动范围之内,如 $\pm 10\%$ 。地块随机尝试所导致的面积改变,若不出预设范围,则均予以保留。若超出预设范围,则将撤销此次的尝试结果。

为了便于量化规则的满足程度,地块当前面积与其预设面积的比值将非常重要。比值接近1说明规则得到满足,而若比值趋近于0或者正无穷,说明地块面积出现了较大偏差。

实践证实,若该规则权重过低或参数取值不合理,会在优化过程中出现部分地块由于受挤压以至于面积过小,完全无法用于建造的情况。而若取值过分严格,则会由于随机尝试成功几率下降而导致优化过程缓慢。

3.2 保持长宽比规则

即使拥有合适的面积,地块依然可能不适宜建造,例如其长宽比不合适。因此,在优化过程中,必须加入保持长宽比的规则。即每个地块都尽量保持其长宽比满足预设要求,如2:1。

长宽比的计算方法因地块形状不同而异。矩形地块通过边长比较获得,异形地块的长宽比可通过最小外接矩形近似计算(图4a)。长宽比将被单位化至小于等于1的值,例如方形的长宽比为1,2:1的矩形长宽比为0.5。该系数被规则化至0到1的区间量化比较,若长宽比在预设范围内,其满足程度均为1,若超出预设范围,则满足程度依次递减直至接近于0。

3.3 消除尖角规则

实践证实,即使满足上述两条规则,依然不能保证优化得到理想的地块。当地块内存在较多尖角时,由于形状的破碎和不规则,使得地块即使拥有合适的面积和长宽比也无法被用于建造。因此,需要消除尖角规则对优化过程中的地块进行实时

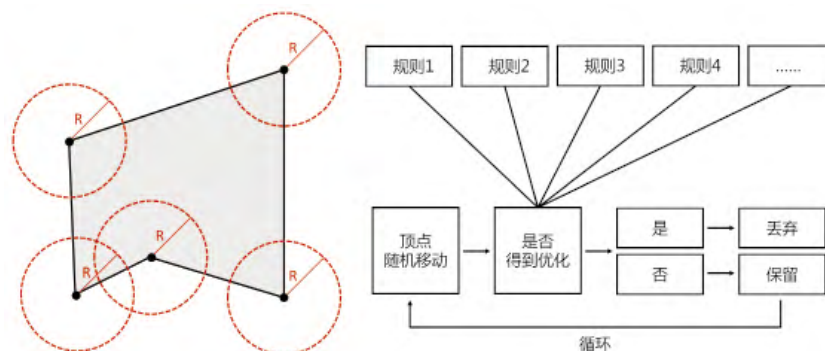


图3 地块优化流程

Fig.3 the optimization process of plots

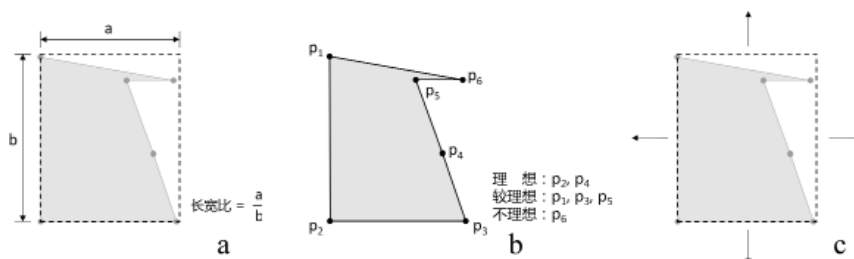


图4 规则图解

Fig.4 rules

评价。该规则使用三角函数评价地块每个内角的角度是否合理,在建筑学中,90°和180°被是最为合理的角度,而接近0°则是最不合理的(图4b)。地块的所有拐角都被评价并加权平均,得到范围在0至1内的结果。其公式为:

$$result = \sum_{i=0}^n \frac{1}{n} \left(1 - \left| \min(\sin(\angle P_a P_i P_b) - \cos(\angle P_a P_i P_b)) \right| \right),$$

$$a = (i-1) \bmod n,$$

$$b = (i+1) \bmod n$$

结果趋近0,说明地块内尖角较多,反之结果将趋近于1。地块在优化的过程中,将不断撤销不理想的尝试,使其评价结果尽量趋近1。

3.4 地块朝向规则

除场力的影响外,建筑朝向亦与所在地块的朝向有关。因此,为使建筑依照场力方向布局,地块的朝向应和场力方向基本相同。判断不同形状地块的朝向的方法有所不同:矩形地块由于内角均为直角,故任意一边均可用作朝向。换言之,如同直角坐标系的两轴,矩形拥有四个互相垂直的潜在朝向。非矩形地块的朝向计算则根据其最小外接矩形的朝向确定(图4c)。

因此,当场力方向与地块最小外接矩形正交时,即视为朝向满足要求。不满足规则的地块将在优化过程中,通过移动点的位置使其最小外接矩形的方位改变,直至满足要求。

4 优化结果

在基地中加入域并设置两个关键点以模拟环境要素,并使用Voronoi图形进行划分,生成设计的初始环境便构建完成(图5a)。利用上述规则进行地块优化,计算机将在短短几秒内给出动态的结果。在优化的过程中,伴随着各地块依照规则不断进行随机尝试,基地的形态从圆润的“细胞状”逐渐演变为棱角分明的状态(图5)。在经过一段时间的程序运行之后,地块之间的博弈形成了趋于稳定的动态结果(图5f)。随着地块优化过程的停止,场地内的交通网络得以确定。通过从地块轮廓向内偏移形成建筑轮廓,在面向道路一侧增加偏移量,使得道路系统随之生成(图6)。

在优化结果中,地块都保持了预设面积与预设长宽比,并尽量消除锐角。同时,预先设置的关键点附近形成了同心圆肌理形态。若向优化后的地块内填充建筑(以

传统徽州民居为范例,其样式亦通过规则系统生成,本文不做赘述)。建筑的生成结果同地块肌理一样,表现出场力方向的影响。关键点附近的建筑同它们所在的地

块一样,也呈向心排布(图7)。

上述优化过程依照“随机—有条件保留—再随机”的流程不断进行。改变初始随机参数,将导致不同的生成结果。但是,若

其余初始条件保持不变,那么不同的优化结果将具有相似的模式,生成结果都可以满足设计要求。然而,若其他的初始条件发生改变,如关键点位置或数量不同,那么即使保持同参数改变前一样的初始Voronoi图形,优化结果也将和之前完全不同。

5 总 结

在上述优化过程中,生成设计的随机性透过智能体不断的随机尝试得以体现,其约束性表现为预定规则影响下对尝试结果进行的有选择性的保留。设计师扮演着制定优化规则的角色,计算机成为设计的实施者。换言之,设计者从设计结果转向了设计过程,并依据结果调整过程,以达到最优。即使通过修改随机参数导致不同的结果产生,设计条件依然能被满足,表明生成设计的结果并不唯一。

由于程序运行结果并不具有尺度的概念,因此该优化方法可以拓展到不同尺度的建筑学应用。聚落尺度的地块优化规则,只须稍加改动,即可应用于建筑平面的尺度,进行建筑平面的生成工作。而初始的Voronoi图形亦可以由建筑功能泡泡图动态生成。该方向的探索将拓展建筑与城市设计的思路,并催生新的设计方法。

参考文献:

- [1] 李飏. 建筑生成设计——基于复杂系统的建筑设计计算机生成方法研究[M]. 南京: 东南大学出版社, 2012: 6-7.
- [2] Muller D E, Preparata F P. Finding the Intersection of Two Convex Polyhedra[J]. Theoretical Computer Science, 1978(07): 217-236.
- [3] Dijkstra E W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs[J]. Numerische Mathematik, 1959(01): 269-271.

图片来源:

图1-7:作者绘制

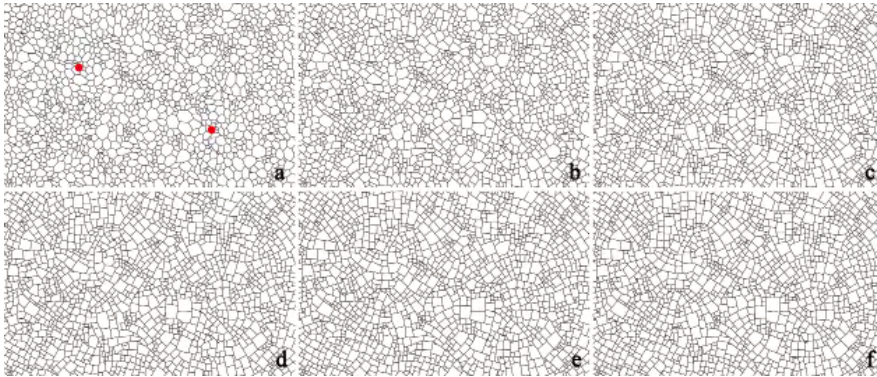


图5 优化过程中的地块变化

Fig.5 the changing of plots during optimization



图6 建筑对道路的退让

Fig.6 roads defined by the offset of buildings

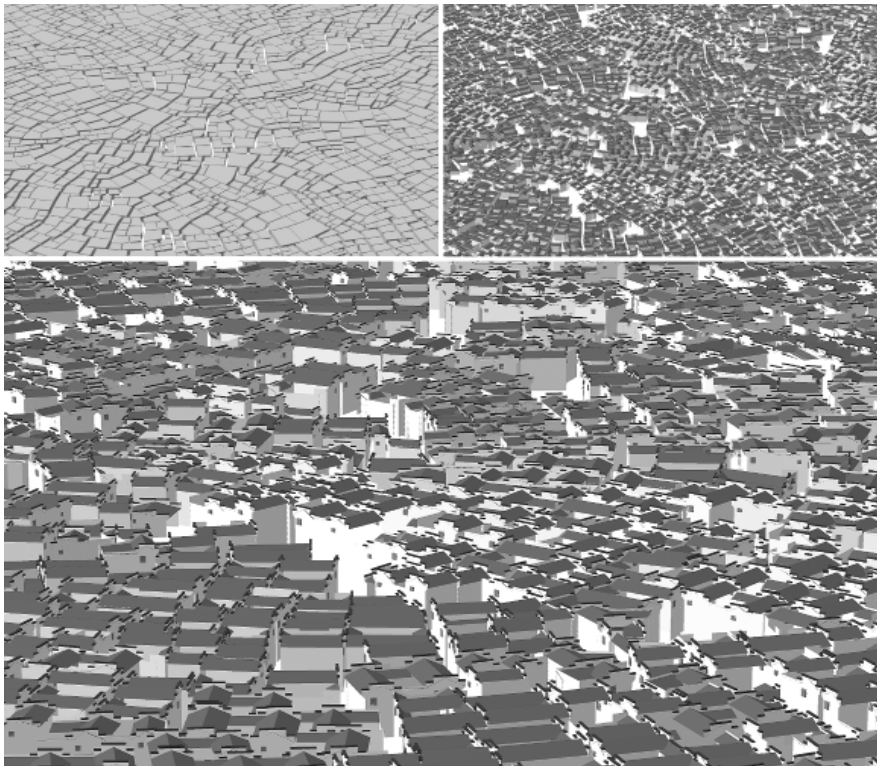


图7 生成的建筑亦遵循场力的作用

Fig.7 generated buildings abided by field forces

收稿日期:2014-12-14

(责任编辑:李方)