

参数化非线性建筑设计中的 多代理系统生成途径*

Multi-agent System Used in Parametric Non-linear Architectural Design

撰文 黄蔚欣 徐卫国 清华大学建筑学院

摘要 多代理系统是参数化非线性建筑设计中的重要生成途径。在理论阐述的基础之上，通过清华大学建筑学三年级“非线性Studio”的学生作品介绍，展示了多代理系统相关方法在非线性和参数化建筑设计中的应用。

关键词 参数化 非线性 建筑设计 多代理系统 自下而上 复杂系统 元胞自动机

1 多代理系统生成途径

参数化非线性建筑设计经过近年来的发展，已经积累了较丰富的生成途径。这其中，既有以局部与整体自相似为特征的分形、L系统等，又有从其他学科借鉴而来的找形方法，如准晶体结构、电场线、最小曲面等，而采用多代理系统（Multi-agent system）模拟复杂系统运动，从而生成设计雏形的方法，也是其中非常重要的一类。

参数化非线性建筑设计思潮开始于20世纪最后几年。其哲学基础来源于吉尔·德勒兹对米歇尔·福柯图解概念的重新解释。福柯认为，图解是“一种函数关系，从一些必须分离于具体用途的障碍和冲突中抽象出来的关系”。而德勒兹则进一步认为图解是一部抽象机器，一方面由一些可述的功能及事物所定义，另一方面产生出不同的可见形式。它是一种与整个社会领域有共同空间的制图术^[3]。另一方面，现代科学也在探索物质世界规律方面提出了新的理论——复杂系统。复杂系统相对于以经典牛顿力学描述的简单系统而言，由大量具有一定智慧性的个体组成，个体之间存在强烈的耦合作用，它们能够根据环境信息调整自己的行为。鸟群、蚁群、人类社会、经济系统、互联网等都具有复杂系统的特点。面对复杂系统，人们提出了“涌现”的方法，通过计算机模拟复杂系统中的个体行为和它们的相互作用，让整个系统的复杂行为自下而上“涌现”出来。当福柯与德勒兹的哲学思想与复杂系统科学、计算机技术相结合以后，在建筑设计领域产生了变革，成为当代参数化非线性建筑设计的核心思想——通过构筑反映建筑内外各种影响因素关系的参数化模型，在计算机内部生成建筑设计的雏形^[3]。

多代理系统也被称作“自组织系统”，是由多个相互作用的智能个体（Intelligent Agent）组成的系统，其中的智能个体具有一定的自治性，能够根据自己周边的情况决定其行为，而整个系统中没有事先指定的主导个体^[4]。这样的系统可以随时间逐步迭代，呈现动态和自组织的特性，成为一种预测和系统优化的途径。多代理系统的原理与复杂系统理论紧密相连，因此在参数化非线性建筑设计中得到了广泛应用。

事实上，我们可以将建筑的环境、建筑本身以及其内部人的活动看作是一个复杂系统。在这里，建筑内的不同空间、不同的个体以及各种环境要素等是其组成部分，这些因素之间存在很强的相互耦合作用。因此我们可以通过计算机内的多代理系统的模拟，由系统中的个体通过自组织的方式自下而上地“涌现”出设计的雏形。这里的多代理系统即为德勒兹所描述的抽象机器，而其构筑和生成过程则是设计的核心环节。

2 “自下而上”是多代理系统的基本属性

“自上而下”和“自下而上”是信息加工和知识组织的两种策略^[5]。在建筑设计和城市规划中，如果简单理解，“自上而下”的设计策略是指先有总体构思，然后逐步深入细化的设计流程；而“自下而上”则是由局部的设计或个体的需求出发，经整理综合，生成出整体。

多代理系统通过设定系统初态和个体之间的相互作用规则，并在计算机中进行迭代模拟，从而涌现出系统的演化过程并获得设计雏形，应该说“自下而上”是其最基本的属性。

“自下而上”的设计途径在建筑设计和城市规划领域占有重要位置。例如，历史上很多村落和小镇，虽然没有规划师的规



图1 不同功能粒子间相互作用力定义及外部影响力定义

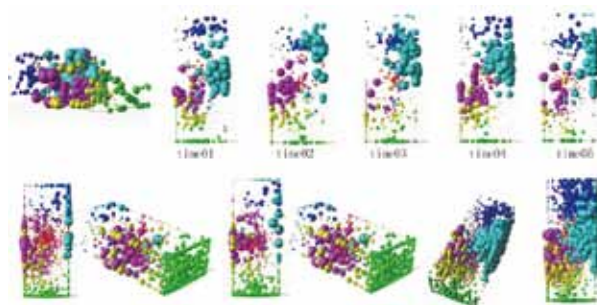


图2 多代理系统生成的不同时段功能分布

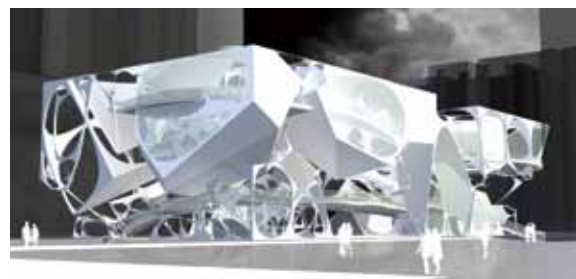


图3 Voronoi空间划分得到最终形体

划，但是在数百年的演化过程中，由居民依据各自的需求，相互影响和磨合自发形成，其结果往往在形态和功能上达到了很高的品质，为建筑师称道。而现代城市规划也重视“公众参与”，让生活在城市中的居民的个体需求能够对规划产生影响。在建筑设计层面，对人体工程学、人及人群行为的研究也成为建筑设计的基础之一。

在参数化非线性建筑设计之前，“自下而上”的设计流程是由建筑师主导进行的，但是人脑的特点并不适合处理大量个体之间复杂的关联与演化，因此设计中往往是在确定某种或某几种单元模式后进行重复与组合。另一方面，多代理系统以复杂系统理论为基础，运用计算机强大的运算能力，通过迭代运算得出整个系统的动态演化。使用这一方法，建筑师能够通过模拟检验微观单元模式在集聚后的运行状况和合理性；并且在参数化非线性建筑设计中，也能够以自组织的方式生成尊重个体需求和满足复杂关联性的动态结果。可以说，这类方法使得自下而上的设计途径得到了极大的拓展，对于提高建筑师处理复杂问题的能力，提高建筑设计的质量具有重要的意义。

3 多代理系统生成实验

在清华大学非线性建筑设计Studio近两年的教学中，我们尝试指导学生在设计中使用“自下而上”的方式，通过构筑参数化模型，模拟系统中个体的相互作用和历时性动态演化过程，生成建筑雏形。这两届非线性建筑设计Studio选择了清华大学附近多元文化交融、充满活力的五道口地区若干场地作为设计地段，设计题目分别为“商业文化综合体”和“信息产品展示中心”。

3.1 “城市起居室”

在设计开始，根据周边各地块拟建建筑功能的分析，确定了本项目的定位：一个密集建筑中的开放空间、一个周边所有建

筑的连接体，也即城市起居室。

为了获取场地的基本状况，在不同时段对场地的不同入口进行了人流量的统计，并且发放问卷得到了人群对建筑功能需求的数据。基于这些数据，使用自下而上的策略分别进行了流线和功能排布的生成。

在流线生成过程中使用了流体力学的模拟软件，根据实地调查所得的人流量数据设定各个入口流量的大小和方向，模拟建筑体量范围内人流的分布。在这里，流体的运动遵从流体粒子相互作用的机制，宏观上反映了不同人流之间相互作用的结果。

接下来，两位同学尝试通过编写C++多代理系统程序，模拟各种功能需求在场地上逐步聚集并形成功能空间分布的过程。首先根据调查问卷获得人群对不同类型活动需求比例的信息，并基于此，在由场地红线和限高确定的体量内随机放入代表不同活动的球体，这些球体同类相互吸引，异类相互排斥或吸引（图1上），逐渐演化形成各种功能混合、但同类功能又相对聚集的分布（图2）。在这里，为了与上一步获得的流线分布相适配，在程序中根据流线设置力场，以对功能球的分布产生影响。

周边建筑对内部功能分布的影响通过在建筑边界上设置作用力来实现。另一方面，根据设计立意，希望建筑底层设置更多公共开放空间，向上则逐渐增加私密性，减小空间尺度。这种设计构思也通过预设外部影响力来实现。由图1下可以看到，自上而下的设计构思是如何与自下而上的自组织生成过程在同一模型中结合的。

最后，在功能球体的空间分布基础上，使用Voronoi算法划分空间。对于功能球体分布较为密集的区域，使其合并形成大空间（图3）。

（学生：尹金涛，程瑜）

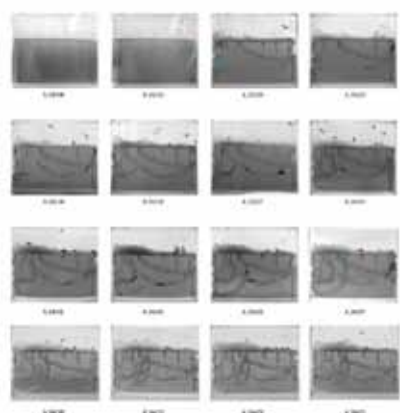


图4 蚂蚁洞穴演化过程及其多代理系统模拟

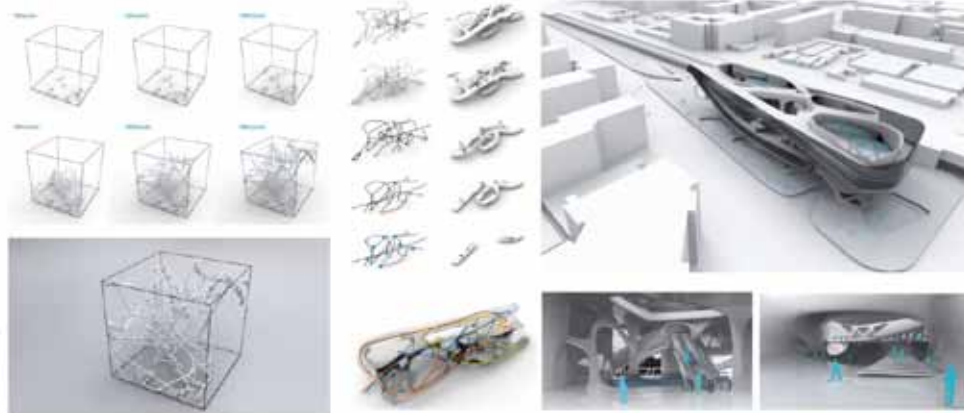


图5 基于多代理系统生成网络的建筑形体生成

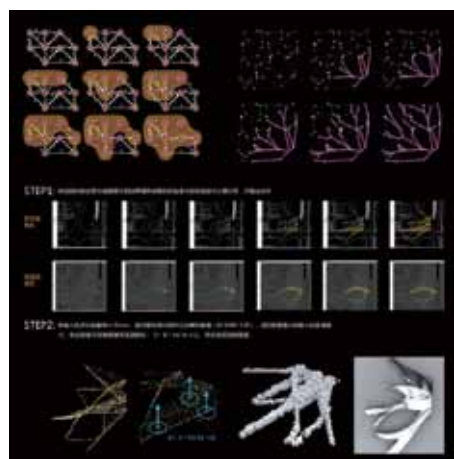


图6 Dijkstra和蚁群相结合算法的人流模拟

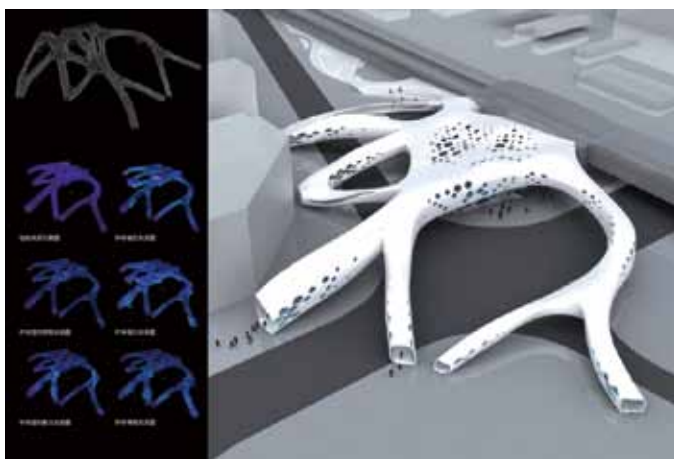


图7 结构分析及最终设计结果

3.2 信息产品展示中心

这是一个位于五道口城铁站边的信息产品展示中心设计。

受到自然界自发形成的网络形态的启发，两位同学希望能够通过对蚂蚁洞穴的研究，找到设计的原型。他们用蚂蚁工坊玩具养了两组蚂蚁，观察和记录蚁群开挖洞穴的过程，并通过编写一个C++程序模拟蚂蚁洞穴网络的形成过程（图4）。这个程序由若干参数控制，包括基本体量、蚂蚁数量、分叉角度和概率，以及到达尽头返回的概率等。这样一种洞穴系统的发展是基于蚂蚁对空间的认知和利用方式形成的。设计中希望以这样的系统发展出建筑流线和空间形态（图5）。

由于程序中模拟蚂蚁洞穴的形成过程中具有一定的随机因素，因此每次生成的网络均不相同。基于建筑功能对程序生成出的多个结果进行筛选，最终选择了一个与建筑功能相适应的网络。对其进行简化之后，发展成为设计的雏形。

最终的设计是一个室内外空间相互穿插的系统，蚂蚁洞穴内的部分对应室内空间，洞穴之间的部分则对应室外公共空间。对

于流线上不同的坡度的部分分别处理为坡道、楼梯和电梯。最终整个建筑呈现出结构表皮一体化的连续有机形态。

（学生：董磊，李瑞卿）

3.3 “Metrostation Activator”

同样是位于五道口城铁站边的信息产品展示中心设计，两位同学将设计的出发点设定在解决城铁站人流的疏散问题上，并以交通流线为主导生成设计。

通过对城铁站附近各路口人流的调查，掌握了人流疏散问题的第一手资料。接下来尝试将一个路径优化算法——Dijkstra's Algorithm与蚁群算法的思路相结合，在路径优化过程中每一条Dijkstra算法获得的轨迹都会留下信息，使得后来的个体更倾向于沿已有的路径行走。这一过程与自然道路的形成过程非常类似。设计中使用这一复合算法，对根据调查结果设定的人流疏散问题进行求解，得到地段上人流分布的二维图（图6）。

接下来，在人流分布图的基础上，与站台相连设置两层平台和过街天桥系统。人流密集处作为通道，人流稀少处则安排信息

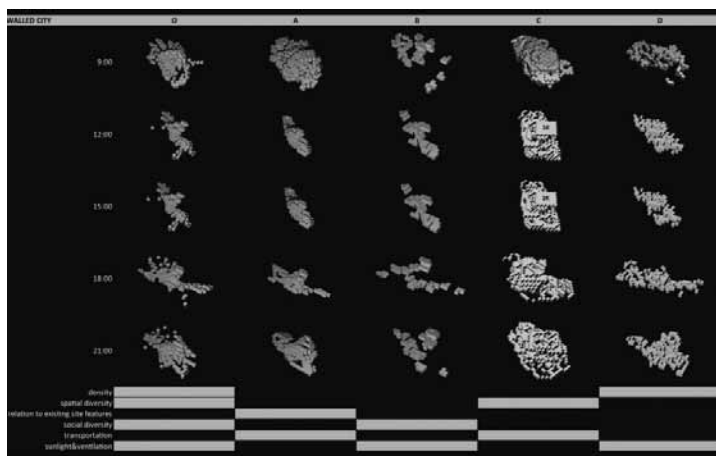


图8 元胞自动机演化规则研究

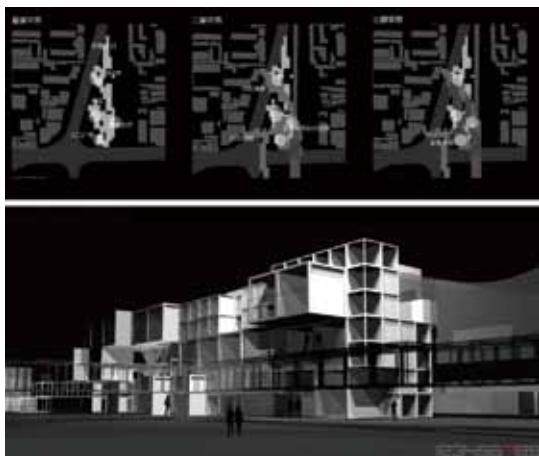


图9 最终设计的平面及透视图

产品展示店，以及连接一层的共享空间。大屋顶的高度也根据人流密度确定，人流较大处空间较高，以满足人们的心理需要。

建筑的结构体系采用相互编织的菱形网格，以形成楼板、墙面和屋顶连续的外皮系统，并通过有限元软件的分析验证了其合理性。立面和屋顶的开窗也在这一系统的基础上生成（图7）。

（学生：陈天雄 王川）

3.4 “生存游戏”

这一作品同样选取了五道口城铁站旁边的地段。设计立意是通过在五道口地区富于活力的沿街地摊商业模式的学习，生成在三维空间内集聚延伸的商业空间。该作品选择了元胞自动机（Cellular automata）作为参数化模型的核心算法（图8）。

元胞自动机被称为“生存游戏”，它是多代理系统的一个重要分支。在演化中，位于预先设定好的空间网格中的元胞自动机个体根据周边其他元胞的状况决定自己的生死^[6]。在地摊商业中，各个摊位需要一定的集聚才能够达到好的商业效益，但是过于集聚的摊位由于客流不够通畅，商业效益又会降低。元胞自动机的演化规

则能够有效地描述地摊商业中这种发展与平衡的模式。

通过对地摊商业现状的调查，确定了元胞自动机中的演化规则，然后在地段上生长演化出三维商业空间的组合。这种组合既达到了商业聚集的目的，又保留了交通和通风、日照所需的空間，满足了小型商业空间的要求。

根据元胞聚集的情况，部分相邻空间组合成为更大的单元，以满足不同商业模式的需求（图9）。

（学生：李梦然，张烁）

4 结语

多代理系统因其与复杂系统科学的密切联系，以及自下而上的生形途径，在参数化非线性建筑设计方法中占有重要的地位。学生作业中对多代理系统在设计中应用的探索，虽然存在不足之处，但是已经开始探讨某些设计中的本质问题，并呈现出复杂系统的特征。相信随着参数化非线性建筑设计的发展，其潜力还将进一步被拓展，并可能成为建筑师和规划师解决实际问题的重要手段。

参考文献

- [1] 黄蔚欣，徐卫国. 非线性建筑设计中的“找形”. 建筑学报, 2009(11).
- [2] 徐卫国，黄蔚欣，靳铭宇. 过程逻辑——清华学生“非线性建筑设计”的技术路线. 见：2009建筑教育大会暨全国高等学校建筑学专业院长系主任会议论文集.
- [3] Multi-agent system. Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Multi-agent_system.
- [4] 徐卫国. 褶子思想 游牧空间——关于非线性建筑参数化设计的访谈. 世界建筑, 2009(08).
- [5] Top-down and bottom-up design. Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Top-down_and_bottom-up_design.
- [6] Cellular automaton. Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_automaton.

*基金项目：国家自然科学基金资助，项目批准号：50578087。



作者简介

黄蔚欣，日本京都大学博士，清华大学建筑学院讲师。研究方向：参数化非线性建筑设计，计算机辅助建筑设计，设计认知等。

徐卫国，清华大学建筑学院教授，博士生导师，建筑设计研究所所长。