

生成设计思维模型与实现

——以“赋值际村”为例

Modeling and Realizing Generative Design

A Case Study of the Assignment of Ji Village

[李颀] Li Biao
[郭梓峰] Guo Zifeng
[季云竹] Ji Yunzhu

作者单位
东南大学建筑学院 (南京, 210096)

收稿日期
2014/08/08

国家自然科学基金项目 (51478116)

摘 要

建筑生成设计提炼建筑原型, 建立影响设计演化过程的时、空限定算法模型, 进而运用编程工具动态优化预设的学科课题, 实现演化模型所需的各种设计目标。文章以“赋值际村”为例, 阐述理性模型、演化模型基本概念及其程序逻辑, 探索际村的形态、肌理、交通、建筑功能和单体生成模式, 寻求模型方法、程序手段与建筑现状的优化组合, 为建筑学方法提供探索、实验的新思路。

关键词

模型 ; 算法 ; 演化 ; 优化 ; 生成设计 ; 赋值际村 ”

ABSTRACT

Architectural generative design extracts architectural prototypes to build time- and space-restricted algorithmic models with impact on design processes, and the predefined problems are optimized dynamically with programming tools to achieve various goals of evolutionary models. Taking the “Assignment of Ji Village” as an example, the paper explains the basic concepts of rational model, evolutionary model, and the logic of related programming. Exploring new ways to enrich architecture methodologies, it also explores the form, texture, transportation, functions and building-generative patterns of Ji Village, and investigates the best combination between models, procedural means and existing conditions.

KEY WORDS

model; algorithm; evolution; optimization; generative design

建筑高校联合毕业设计始于 2007 年, 至 2014 年已经历 7 年之久。2014 年的课题以世界文化遗产宏村为背景: “建构——黟县际村村落改造与建筑设计”, 基地位于安徽省黟县的际村 (东西分别与水墨宏村、宏村相邻), 总建设用地约 7.6 万 m^2 (图 1)。学生根据调研结果自行选择设计目标, 课题具有相当的开放性。东南大学建筑学院尝试划分一组学生以模型研究与程序算法为切入点, 运用建筑数字技术探索古村落肌理生成、建筑建构方式及与之相关的村落形态演变, 取名“赋值际村”。

1 理性模型: 先验与有序的矛盾

程序设计师与艺术类设计师工作方式大相径庭, 程序工程师的设计视角关乎实用和效益, 兼顾效率和优雅; 艺术家的设计则强调意义的传达和愉悦感, 建筑师、产品设计师却需要二者兼顾^[1]。“赋值际村”课题不同于普通的例行程序设计, 它不能借助改变参数逐个推演不同层面的设计对象以实现最终预设成果。理性模型也不完全适用于“赋值际村”, 但可以为基本算法提供必要的思维流程, 也是组员合作的抽象交流平台。

软件工程师对设计过程一般均有清晰隐晦的有序模型, 假想用软件工程师的工作方式从事建筑设计, 其工作流程大致如此: 首先确定工程的目标及一系列“必要条件”, 如: 争取更佳的景观资源等; 建筑功能、房间数量等; “效用函数”通常根据“必要条件”的重要性设定加权系数, 所有必要条件线性相加组合, 如窗户大小与节能的权重系数如何分配; 对于只有满足和不满足的二元约束, 接近边缘约束的权重代价会急剧增加。预算及资源分配是比较重要的指标, 但在特定的项目中却未必成为设计权重的最大约束, 如表征权力或特定文脉地段的建筑等。综合设计目标、必要条件、效用函数及关键预算, 便形成理性模型的设计树, 在每一个设计树的节点处会选择一条或多条路径, 且树形结构组织的设计空间可以清晰描述, 可以对诸多方案进行评估。理性模型类似对设计路径作穷举搜索, 以搜寻最优解, 选择设计树各节点上最有前途和吸引力的方案, 如果路遇死胡同则会采用回溯的办法尝试另一条路径。这种理性模型概念是一个简单的线性过程, 以可行性约束为依据, 其思路也能被清晰描述。理性模型也可以在人工智能意义下搜索合适的标的, 但模型比上述线性模型要复杂很多, 对于设计过程自动化, 人工智能仍是强大的先驱。

对于定义明确的项目,采用“先开始编码再说”的方法往往行之有效,但对于大型软件系统,没有系统化的理性模型规范则可能产生毁灭性的后果。理性模型会体现很多长处,必要的约束条件也有助于避免团队合作陷于不知所措的局面,后期可以有效规避大量的麻烦。但使用理性模型应对建筑设计问题时需要注意以下几个问题:

1) 理性模型越明确越有悖建筑设计多样解答的需求,建筑师的设计过程并非寻找一个真正的最优解,通常是寻求满足条件的众多解。

2) 通常在设计初期,建筑师只有模糊的、不完整的目标,定义不甚清晰的设计目标使得理性模型无从建立。建筑师通常基于既定的条件和规范,借助先验描绘出设计目标的大致轮廓,很少有设计师有机会或能力绘制完整的程序模型设计树。

3) 建筑师的设计树节点并不用于决策本身,而是一个临时方案。节点同时也可能映射到若干简单备选方案,通过树型结构模型所带来组合爆炸将是任何一台计算机无法承受的。

4) 建筑师的先验直接判断往往是程序编写的噩梦,无论是直接或间接获得的先验均没有明确的设计树定义,更无法通过具体项目预测、跟踪下一个设计目标,而技术理性成功与否往往取决于专业人士对最终目标的认同。

5) 权重与约束的持续变化通常会导致判断条件也不断更新,例如,建筑使用者的特

殊喜好会加重原先并未设置于设计树中的权重因子;建筑师围绕着各种变化着的约束做设计,并试图在设计空间中寻找创新和探索,这也是建筑设计的难点所在。

建筑师擅长空间思维,所以程序设计模式的可视化极有必要,设计过程的理性模型可以帮助并组织设计工作,有助于进行与项目相关的沟通。对于软件工程师则不必过于强调理性模型,因为这是他们专业与生俱来的经验和方式,但在具体操作时,线性的理性模型有可能具有巨大的误导性,有时它们并不真实反映工程师的真正工作流程,更不是设计师认同的设计本质。

2 演化模型:模块与应用的分离

建筑生成设计研发不同于图形绘制或表现类的软件开发,演化模型的核心系统与建筑学效用模块彼此映成(一对多或多对一的映射),但核心系统的叠加并不能包络建筑学的全部。建筑学科和计算机学科的思维方式和学科评价系统迥然不同,程序开发擅长运用理性模型处理定义明确的应用问题,不巧的是,大多建筑学问题却定义隐晦,这直接导致学科间的交流存在巨大鸿沟,所以至今生成设计研究尚限于以建筑学科人群为主导的有限人群,建筑生成设计的程序研发者同时也是软件工具的使用者,核心需求与模块实现以及程序运行反馈有效性的判断均由建筑学科人群完成。

演化模型基于对设计原型的递进式探索,它并不包罗“设计、构建、测试、部署、维护、扩展”等大型商业软件开发所必须的步骤^[1]。演化模型主要针对不能明确定义需求的开发目标,一般也不存在明确的优化收敛过程,演化模型可以提供大量原型后续研发空间。演化模型没有里程碑和合同的节点限制,开发模式可以采取分批循环开发的办法,每次循环便为原型增添新的功能,这种开发模式恰好对应建筑学科各类应用子集,如最优路径算法程序模块可以映射至疏散人流设计或城市设计的道路系统规划;模

式识别算法可以映射至聚落模式及建筑形式生成,也可以用来探索各类城市形态研究课题^[2]。演化模型基于设计过程中的问题空间和解空间共同演化,在此过程中信息在这两个空间之间流动^[1]。演化模型程序开发需要将模块、程序数据结构与专业应用彼此分离,避免因子模块交叠而引起逻辑漂移的灾难性后果。

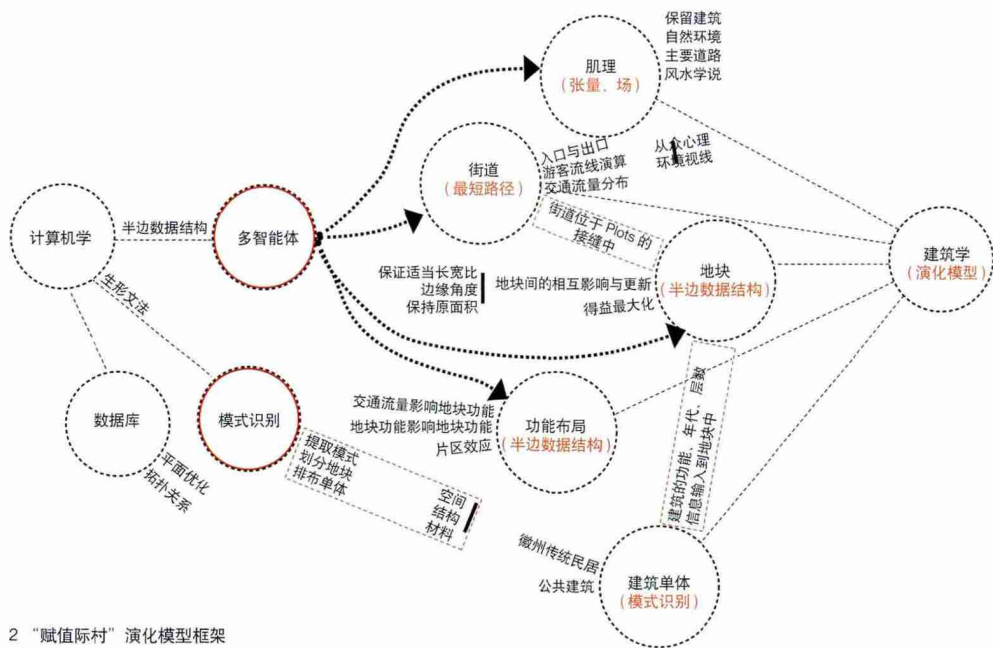
“赋值际村”基于设计组多次“试错式”程序探索,最终确定以演化模型作为程序开发基础。首先提取并分解该课题潜在的原型单元,如肌理形成内因、地块演化逻辑、交通系统与地块功能关联规则等,一方面,它们基于建筑学科特定课题的应用需求,并将成为程序循环开发的功能模块预设;另一方面,分类方式需要结合开发者对程序算法与数理描述可能性的深度理解,并在确定分类的时候便可以借助理性模型大致描述。如:肌理与“张量场”概念存在一定关系,并借助于该数理方法模拟建筑群的生成肌理;地块演化逻辑可以基于半边数据结构(half-edge data structure)实现;交通系统可能与路径最优化算法相关,并由此拓展到地块的功能暗示,“模式识别”技术可以应用到中国传统建筑建构与形式生成探索等。换句话说,这种分类并不能根据单一学科确定,必须是开发者对总体知识结构(涵盖建筑学与计算机学科)而做出的理性预断。由于建筑生成设计成果的开发者与使用者合二为一,所以当工具核心需求实现后,研究小组可以通过不定期研讨提出有效的反馈,并在此过程中精化系统、增强系统能力,确定“赋值际村”的最终理性演化模型框架(图2)。

3 赋值际村:模块与算法实现

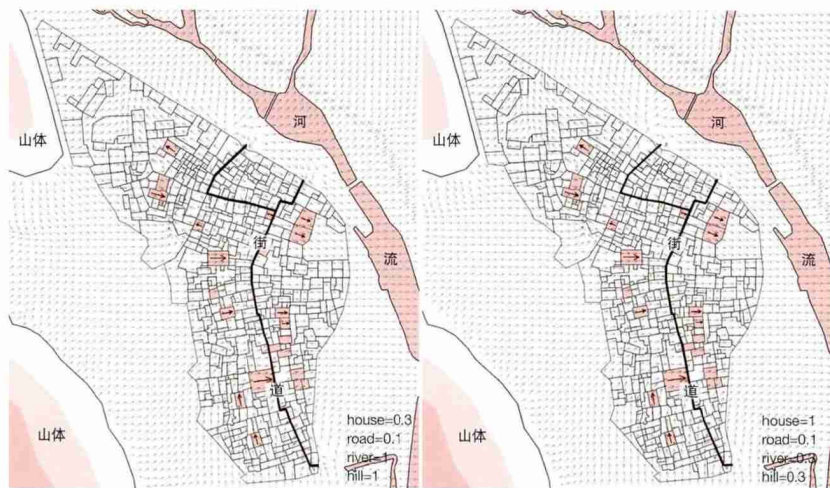
际村与世界文化遗产宏村一河之隔,“赋值际村”基于村落的现状秩序,运用程序算法提取可程序化的建筑设计原型,从际村的形态、肌理、交通、建筑功能和单体模式探索其发展趋势,寻求模型方法、程序手段与建筑现状的优化组合。



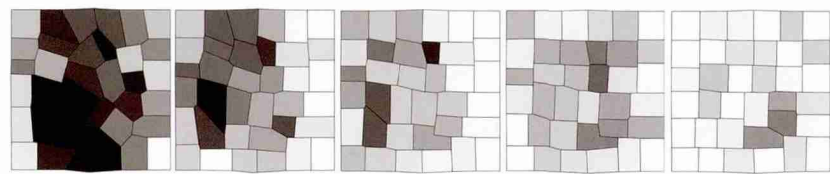
1 际村区位



2 “赋值际村”演化模型框架



3 张量场形成的肌理暗示



4 地块优化演化过程

3.1 肌理模拟

选择张量和场的数理方法作为控制村镇肌理生成规则之一是基于其数据图形化与城市或乡村聚落肌理的形似，其内在关联有待进一步研究，张量场均可以通过一组矩阵向量表示空间点的多重线性变换^[3]。

“赋值际村”主要考虑4种关联因素：1) 河流、山体等既定位置关系，如，背山面水布局特征；2) 重要（保留）建筑、新建建筑

与老建筑通常方向一致；3) 历史形成的主要干道，以及“鱼骨形”次一级干道，沿街建筑通常面向街道；4) “风水”从另一个角度提供一些肌理控制规则，如祠堂的朝向等。有了以上4种控制因子，可以给各因子分配不同权重，同时判断何种分配权重最符合建筑学需求。图3显示不同权重系数对基地内矩阵空间的潜在肌理暗示。

肌理生成控制因子可以根据实际应用不

断扩充，需要在程序编写时预留好必要的封装“接口”。肌理与各地块演化将共同影响建筑的主要朝向。

3.2 地块优化

地块优化体现为地块利益最大化演化目标的多智能体彼此博弈过程，地块需保持预定基本参数需求并遵循共同的演化规则，如：合理的长宽比、面积浮动范围、地块角度控制等。“赋值际村”采用半边结构来描述地块与相邻地块的数据关系，相关地块内的建筑年龄、层数、功能及完好程度也被储存，以备整体演化之需。所有地块彼此无缝连接，道路网将通过半边结构节点与边的关系选择性地在地块边界演化生成。

地块优化基于多智能体演化算法，并将规划与建筑控制参数植入编程代码，图4为随机初始状态下各地块的优化演变过程（地块灰度越深表示状态越差），各地块的演化遵守上述博弈规则。将其初始状态设置为际村既有地块数据，施用相同的演化规则便可以模拟所有地块动态优化进程。

多智能体系统演化模型结合半边程序数据结构可以动态解决复杂性和不确定性的规划与建筑学问题，单个智能体地块具有独立性和自主性，也能够基于预设的规则确定各自的优化方向，以自主推演的方式影响整体布局的优化进程。

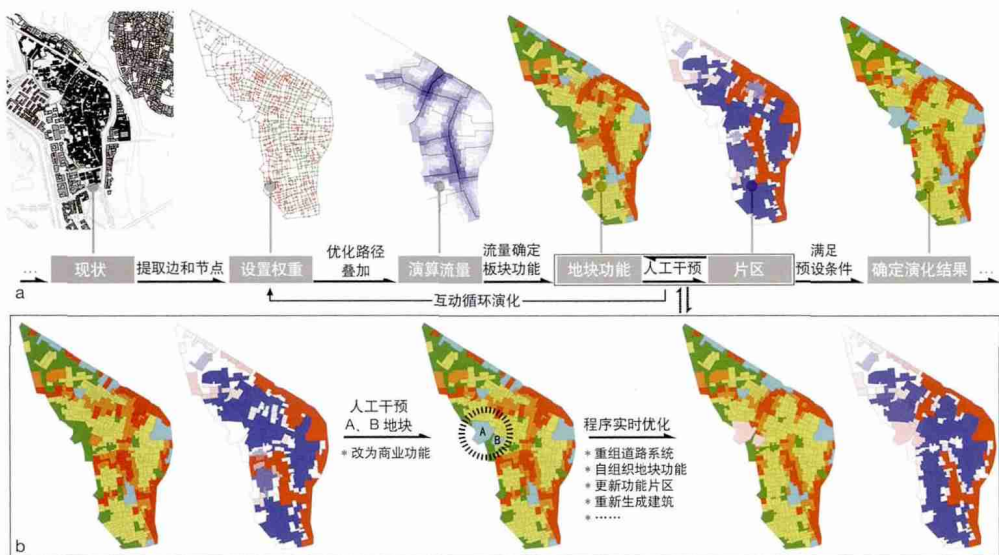
3.3 街道与功能分区互动

“赋值际村”交通系统与地块优化互动生成，它们均基于半边数据结构系统，寻径算法已经很多，如A*、Dijkstra算法等。半边结构提供了顶点和边的基本数据（图5a），且可以根据现状路网设定不同的权重，这为街道生成提供了极大的便利。际村位于宏村和水墨宏村之间，考虑际村东西侧交通现状和空间关系，“赋值际村”在西侧和东北侧分别设置4个和6个出入口（图5b），两侧相通的路径共有24种可能，结合际村道路现状（图5c）便可以计算沿交通干道的地块，人流量多少也可以图像化显示，如图5d，颜色越深人流量越大。

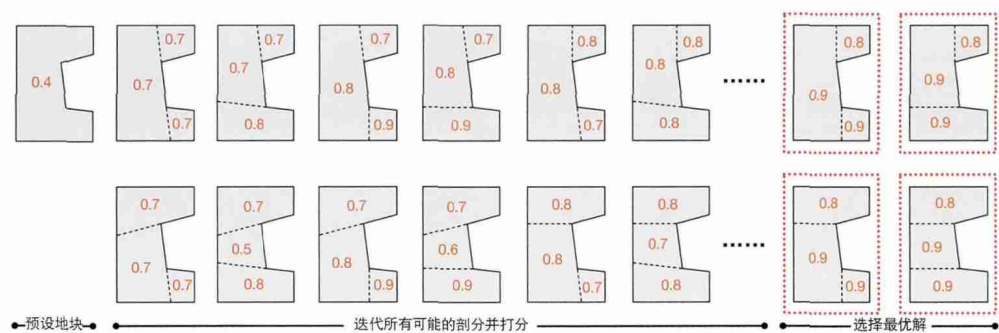
临街且人流量大的地块更倾向于布置商业功能，街区内部的地块倾向于居住功能，



5 “半边数据结构”道路网系统



6 “赋值际村”演化流程



7 地块划分及评分模式

其它地块功能则介于两者之间。由此，可以得到一个动态优化的演化模型：地块自组织演化，不断寻找其更为理想的形状和位置，并因此牵动主要交通网络的变更，变更的交通网反过来影响地块的功能属性，而地块功能的改变又会对地块形状提出新要求。地块、交通网络、功能互相牵制，当演化结果达到预设演化目标时，便可以结束整个优化演化过程，程序总体演化模型见图 6a。此外，“赋

值际村”尝试提供人为干预演化模型的可能，如果 A、B 地块被强制变更为商业功能，由于其规模较大，商业的集聚效应会影响其周边地块的功能，边与节点的权重也将随之改变。这种变化会成为新的演化条件，系统会根据新条件演化出不同的生成结果（图 6b）。

3.4 模式识别与单体生成

传统徽州民居具有明显形制特征，在材料、做法、尺度、比例等均具有鲜明的地方

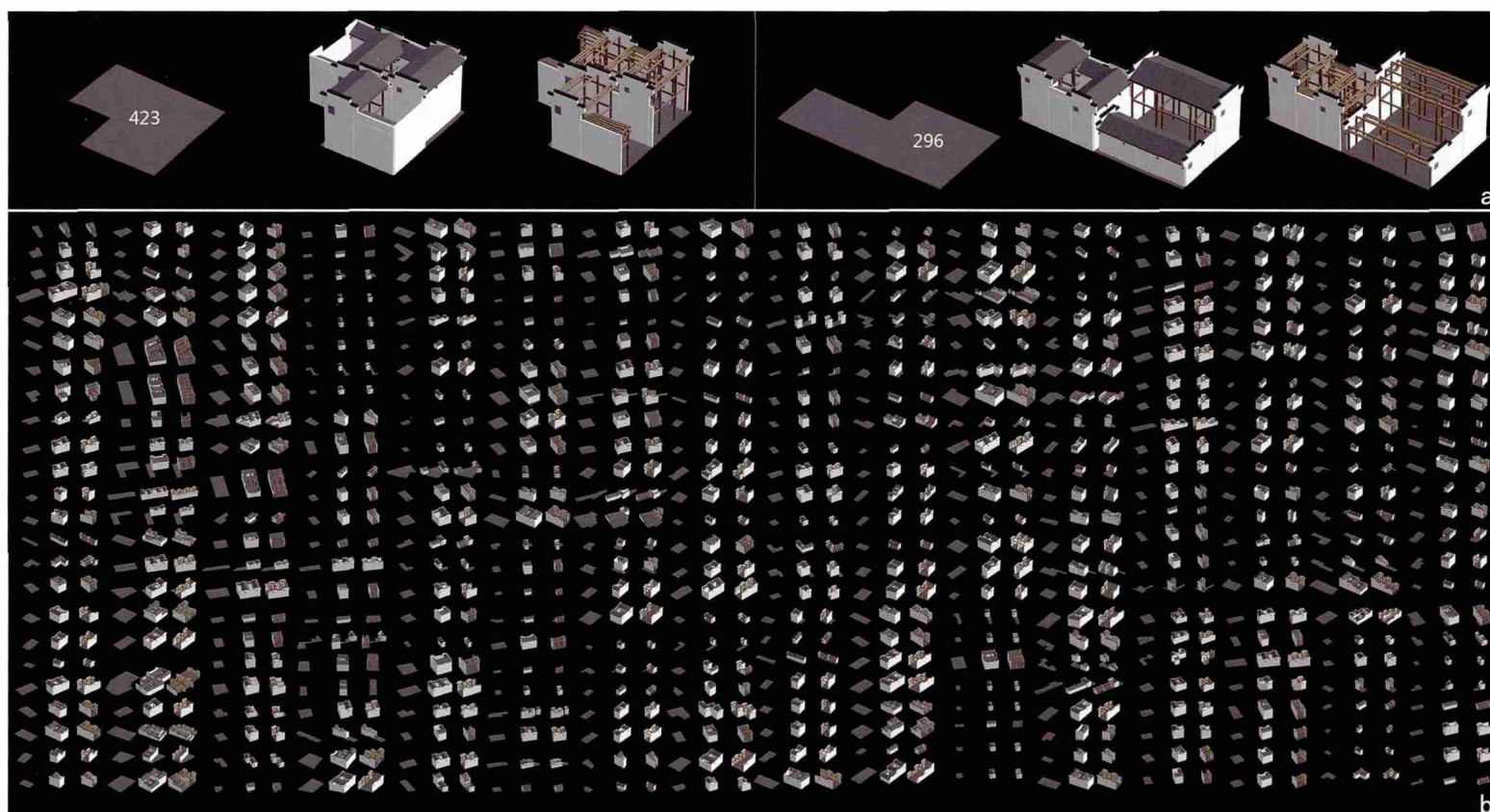
特色，其外在表现通常与内部功能和建构方式息息相关。徽州民居的生成可以借助相应的“生形文法”规则完成。单体生成基于特定时刻的地块演化数据及总体肌理暗示（见 3.1 部分），“赋值际村”以徽派建筑作为其单体塑型模式。对于简单的地块程序经过预处理将其简化成四边形；复杂形状的地块则将其剖分为四边形子地块，程序评判并筛选出最佳的剖分结果（最适宜建筑建造的剖分，图 7），若出现得分并列则根据朝向和道路等因素做决定，程序将以最佳的剖分方式进行单体生成。

单体生成基于对徽派建筑的建构和风格的认知，是一个从内部结构到外部形式的语法生形过程，即地块剖分、木构架构建、徽派围护结构的模式识别。如图 8a 显示两例地块的徽派建筑自生成结果。图 8b 为其中 384 个地块的建筑生成结果，单体生成基于地块参数的线性推导，具有极高的生形效率和极强的自适应性，“赋值际村”只需要数秒钟便可以生成所有包含结构框架与围护结构的全部单体。

4 成果整合与技术展望

上述程序模块遵循模型与应用相分离的原则，所实现的功能也相对独立，但在演化模型过程中它们均保持彼此数据的畅通交换，通过瞬间实现数十次之多的演化、评判、再演化的循环迭代，生成系统逐步提升演化成果的“设计”品质，其间，简单遗传算法起到关键性作用^[4]。“赋值际村”源于对建筑学问题的理性演算与推导，但最终成果必须回归建筑学的专业评价。图 9 为演化系统的历时数秒钟的生成成果之一，对于不同预设参数和干预条件系统将生成不同的结果，并且程序每次运行结果均满足预设条件而显现成果各异。

“赋值际村”系统使用多智能体演化模型思想，定义智能体以及智能体各自独立的属性和方法，将建筑设计系统转化为由多智能体交互协作的复杂自适应系统，进而针对基于此生成系统的单元模式构建具有特殊适应性的“生形文法”，从而形成完整的建筑



8 微派建筑结构与表皮自生成系统



9 演化成果

生成设计的多模块、高内聚低耦合的徽州民居聚落空间生成系统，其模块及演化模型可以扩展到艺术、规划及建筑学等诸多学科。

演化模型系统在“赋值际村”中国绕直观的互动行为和抽象的思维逻辑而展开。并将宏观与微观有机联系，智能体与环境的信息互换使得个体的变化成为整个系统的演化基础，这种方式可以启发建筑师更多关于建模方式的思考——如何让程序提供更多科学的解答而非借助主观控制实现模式化的答案。对于复杂问题的求解，可以通过构建多智能体系统的方式通过“自下而上”的“自

组织”方式呈现不断趋于优化的结果。个体与个体之间的影响在自然界中无处不在，体现主体特征的个体与其所处的环境之间互相影响、互相作用成为系统演变与进化的主要动力。尽管模型方法可运用于个案各不相同，但技术方法却被应用于越来越多的相关领域。随着计算机程序算法技术的不断提升，各种建筑学经验和思维能力的系统模型与程序算法正朝着更广博、精深、复杂的研究领域扩展。众多以前无法处理的建筑学课题逐步找到新的计算机建模途径，其系统方法日益影响到各类学术分支，模式化的建模手段

正逐步形成崭新的横断学科，其研究成果也加快了学科间的密切融合。^[1]

参考文献

- [1] Frederick P. Brooks, Jr. 设计原本 [M]. 高博, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [2] Mueller, P., Wonka, P., et al. Procedural Modeling of Buildings [J]. ACM Transactions on Graphics, 2006, 25(6): 614-623.
- [3] Chen, G., Esch, G., et al. Interactive Procedural Street Modeling [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 1-10.
- [4] 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.