

基于形式语法的建筑设计细胞衍生法研究

张斯琪¹, 尚 涛^{1,2}

(1. 武汉大学城市设计学院图学系, 湖北 武汉 430072;

2. 武昌理工学院城建学院, 湖北 武汉 430072)

摘 要: 目前可用的计算机辅助设计工具, 为设计开发过程后期阶段提供了相当有效地支持, 但对于设计初始阶段, 即设计思路成熟、但设计的结构和形状还未确定之时, 需要一种新的 CAD 解决方案来支持设计者思维方式并激发创作灵感。因此, 提出一种基于空间形式语法的建筑设计生成方法, 描述复杂空间形体如何自动派生——通过限定的规则产生初始体块, 在规则内生成与初始体块相似体块, 再而改变局部可变规则生成多样复杂的系统, 同时允许设计者积极参与整个生成过程。以 CFS 墙体原型建模为例, 验证该参数化建模方法的有效性和可行性。

关 键 词: 形式语法; 建筑生成设计; 细胞衍生法; 参数化建模

中图分类号: N 945.12; TS 941.26

文献标识码: A **文 章 编 号:** 2095-302X(2015)05-0678-08

A Study of Cellular Derived Law in Architectural Design Based on Shape Grammar

Zhang Siqu¹, Shang Tao^{1,2}

(1. Computer Graphics Department, School of Urban Design, Wuhan University, Wuhan Hubei 430072, China;

2. School of Urban Construction, Wuchang University of Technology, Wuhan Hubei 430072, China)

Abstract: Computer-aided design tools which are available currently have been providing effective support for the later stages of the architectural design process. For the initial stage of architectural design, in which design concept is mature whereas the structure and shape are not determined, a new kind of solution should be needed to support designer's way of thinking and inspire the creation of design. Thus, in this paper, a new method of architectural generation based on shape grammar is proposed to describe the animation of the complex 3D forms. It tells how to create an initial shape by limited rules, then automatically generate genetic shapes, and finally grow into a complex system by modifying the adaptable rule. Also, the developed shape grammar framework allows designers to actively participate in the generation process. Finally, the modeling of CFS wall prototype is taken as an example to verify the effectiveness and practicality of this method.

Keywords: shape grammar; architecture generative design; cellular derived law; parametric modeling

建筑设计过程通常由设计者的初始概念萌生, 进而驱动一个设计过程。这个过程通常是从手工草图的最初设计理念开始, 直到完成一个可支持工程

分析和制造的完整方案设计。在建筑设计后期阶段, 运用计算机辅助设计(computer aided design, CAD)工具, 为建筑设计和开发提供强有力地支持,

收稿日期: 2015-01-31; 定稿日期: 2015-03-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50608061)

作者简介: 张斯琪(1991-), 女, 湖北武汉人, 硕士研究生。主要研究方向为虚拟现实与仿真。E-mail: 47feee@sina.com

通讯作者: 尚 涛(1956-), 男, 河南罗山人, 教授, 博士, 博士生导师。主要研究方向为参数化建筑设计。E-mail: tshang56@126.com

设计的结构和形状已固定成形, 这样的 CAD 工具在设计表达上有极大贡献却不能为设计师的前期概念思维提供裨益。为了支持早期的概念设计阶段, 需要一种新的 CAD 解决方案, 其并不需要对设计的形状给出明确地表示, 并且能意识到这些设计呈现的等价性及允许多个事件的发生。这种新一代的设计工具, 即“计算设计合成”系统, 需要支持设计师的思维方式, 譬如通过提供并非设计师最初意识到的其他特殊性设计方案, 使他们提高设计创新能力。

将建筑体本身视为由基本结构单元逻辑性衍生而成的整合体, 是参数化建筑的核心思想。随着学科交叉的不断深入, 生物工程的思想也被建筑设计领域所借鉴^[1]。细胞是生物体结构和功能的基本单位, 细胞的特殊性决定了个体的特殊性, 细胞分裂的增殖方式与细胞分化的变异方式对于模拟建筑单元的遗传性规则和修改性规则上具有极高相似度, 国内外学者已经就设计与生物工程的类比进行了诸多研究^[2]。

本文提出一种基于形式语法的细胞衍生法, 重新定义了建筑设计的生成算法, 开发的形式语法的框架使设计人员能够自动合成设计并积极参与到生成过程。致力于提供定义形状以及后期在形式语

法规则以及设计生成过程中使用的交互方式, 使得在概念设计阶段, 初始形状可以被检测, 并能用于生成过程中, 其可获得的不仅是更广泛而更诱人的设计, 同时也使得在设计过程的早期就能对于设计结果有宏观认识。

1 形式语言与建筑设计细胞族

1.1 形式语法

形式语法使用形状和空间规则来分析和生成设计, 它是由 Stiny 和 Gips^[3]在 20 世纪 70 年代早期提出, 阐述其概念以及结构体系并用来描述和创造绘画雕塑。

每个形式语法定义一种设计语言, 而设计在这个语言中由语法中的元素构成。形式语法中的元素有词汇定义、空间关系、形状规则以及其初始形状^[4]。形式语法的词汇为设计提供了基本的建筑设计元素, 空间关系确定设计元素的基本逻辑构成。形状规则或形状规则样式由空间关系决定, 将第一个形状规则的样式应用于初始形状, 然后其他的样式递归地应用到一组形状中来生成设计。如图 1 所示, 形式规则由一组参数化的形状构成, 确定初始形状, 执行每一条形状规则执行后, 右侧形状(图 1(c))不断被左形状(图 1(a))置换形成新的空间构成关系。

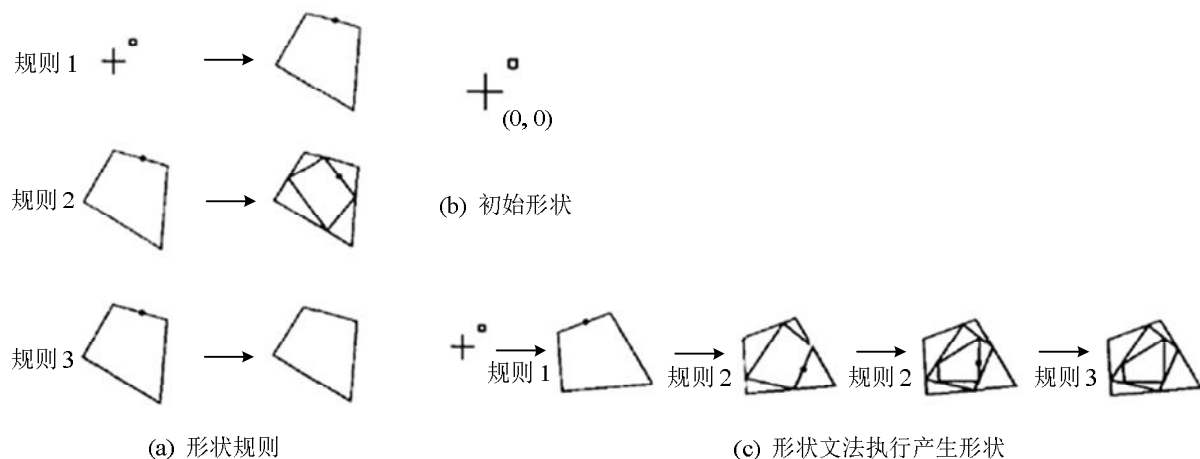


图1 形式语法示意

定义1. Stiny和Gips^[3]是这样定义形式语法的, 形式语法是一个四元组, $SG=(V_T, V_M, R, I)$ 。其中, V_T 为形状的有限集合, V_T^* 是一组由对一个或多个 V_T 中的元素作有限次数的排列而形成的一组形状, 其中任何元素可能会被多次进行缩放与旋转等操作。 V_M 为标记形状(符号)的有限集合, 一个标号形状由一个形状与一个标记组成, 标记用于控制形状规则在左形状上的执行。 R 为规则的有限集合, 其定

义的基本形式为 (u,v) , 满足以下条件: ① u 是一个带有符号标记的形状, $u \in (V_T, V_M)^*$ 。② v 也是一个带有符号标记的形状, $v \in (V_T, V_M)^+$ 。③ $(V_T, V_M)^*$ 是形状与符号标记所组成的集合。④ $(V_T, V_M)^+$, 则为 $(V_T, V_M)^* \cup (V_{T\emptyset}, V_M)^*$ 。⑤ I 为初始形状, $I \in (V_T, V_M)$ 。

在建筑设计中, 弗兰克·劳埃德·赖特的草原房子, 帕拉第奥别墅和Mughul花园都使用形式语法进行了分析, 使得新的设计能在原有建筑上提取类

似风格。在工业产品设计中,学者们也进行了诸多尝试,文献[5]提出了一种基于形状文法的产品形态创新设计推演模型。此外,形式语法被用于细胞自动机规则模式的派生,由此进入了非传统领域^[6]。

1.2 建筑设计细胞衍生法

将建筑看成是某一个或多个各不相同功能单元的不断重复或有机排列,则建筑设计的风格能微缩到功能单元及其排列形式上^[7]。这些单元则承载了建筑的特征,如物理特征和情感特征,直接影响并决定了建筑设计的延续性与创新性。

在生物工程中,细胞作为遗传信息复制与转录的载体,生物体形成包括:细胞分裂——实现增殖和遗传信息的传递;细胞分化——经过细胞分裂后逐渐在形态、结构和功能上形成稳定性差异,产生不同的细胞类群,实现功能形态的多样繁复化。

将建筑视为有机生物体,将其按照基础结构以及功能划分为最小单元时,视为建筑的单体细胞。功能单元的重复迭代和其中风格的延续即可视为细胞分裂的过程,功能单元之间的形态、结构、功能在一定范围内的差异性变化,即建筑细胞的分化。建筑单体细胞通过一定规则的排列,形成整个建筑有机形体,即建筑设计细胞族。如图2所示细胞排列的表现方式,与建筑单元构建之间的组合方式相当契合。

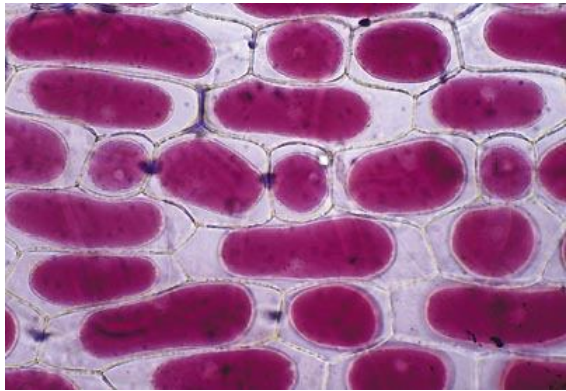


图2 细胞排列图

2 细胞衍生法研究

2.1 细胞衍生法规则定义

建筑设计本身是一个将概念实体化的过程,而形式语法能够将建筑要素作为编程的语言,能很大程度上使设计风格在生成结果中得以体现与延续,从而与遗传变异的概念切合。

因此,文中提出基于形式语法的细胞衍生法,在此方法中,建筑的最小功能性单元被视为原始细胞,即形式语法的初始形状,最小功能性单元即是

指能代表建筑的隐性与显性风格,并由它经过有限次数的变化转化为其他功能性单元的最小单元,下文中构建CFS墙体^[8]时将详细说明。形式语法中所对应的形状规则——生成性规则和修改性规则分别对应于建筑细胞的分裂与分化,形式语法与细胞衍生法之间关系如图3所示。

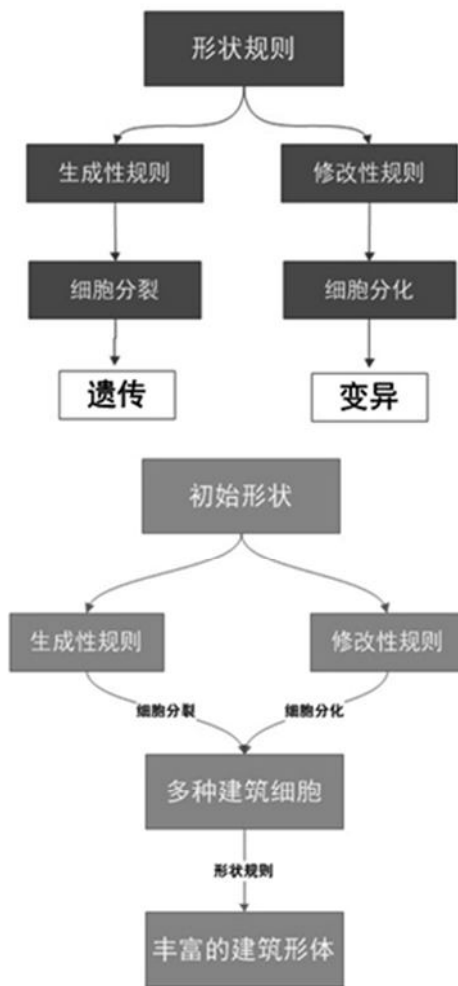


图3 细胞衍生法图示

生成性规则是指形体构建时的原始限定规则,初始形状以及形体风格的初步形成规则,譬如基础细胞的生成规则,与其遗传特性相对应。而修改性规则是在保持整体框架的基础上,对初始形状的形成规则进行添加、删除、置换、修改等,同时保持整体的构建概念,产生丰富多样的生成结果,即为细胞衍生法的变异特性。建筑设计过程中细胞衍生法的运用过程为:确定初始形状之后,通过执行生成性规则,进行细胞分裂,生成多种相似建筑细胞;执行修改性规则,进行细胞分化,产生变异类型细胞。分化与分裂形成的建筑细胞再次运用形状规则,最终建立丰富多样的建筑形体。

2.2 实例研究

2.2.1 主成分分析

建筑设计基本特征的发现来源于其有别于传统形式又并不符合预期定义,从而引发了怎样的特征能将现有的设计区分开来的探讨。在本文中,分析其主成分并挖掘其成分之间的关系来创建一种细胞衍生法,为建筑设计提供一种更便捷又创造更多概念契机的语法方式。

图4为CFS墙体原型,通过对其形态与构成的分析,得出以下特征是最能充分描述墙体构成形式,即其构成主成分为:

(1) 重复堆叠的组合单元,如图5和图6每个单元边缘相对应重合,包含A、B、C 3种不同的单元形式。

(2) 重复单元之间的连接间隙,如图6所示,D、E构件连接3种不同重复单元形成的墙体。

(3) 组合单元中各不相同的9个单体细胞,如图7所示,重复单元B中,每个单元都由9个单体边缘拼接而成,A、C单元也是如此。

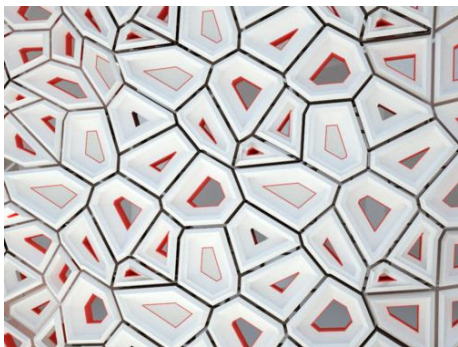


图4 CFS墙体原型^[8]

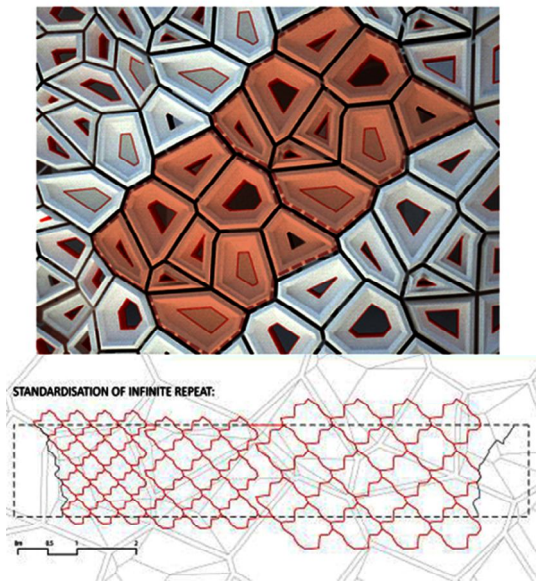


图5 重复的细胞组合^[8]

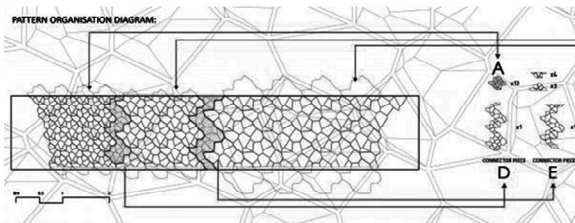


图6 连接间隙^[8]

2.2.2 形状规则——细胞的分裂与分化形式

如图7所示,每个重复单元由9个多边形体块构成,其之间存在形态上的关联与变化,即建筑细胞的遗传与变异,分裂与分化,形状规则为其提供了逻辑性的准则,使之在经过细胞的无数次分裂分化后能组成一个有机整体并具有鲜明风格。

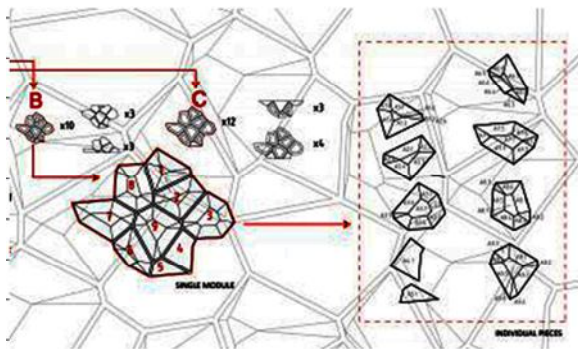


图7 连接间隙与重复单元^[8]

形状规则的确定要求主要来自于两方面:约束规则,包括建筑构造的物理特性以及自身细胞构建的特殊连接方式,以至于对细胞分裂时的变化进行约束;遗传特性,根据概念设计的意向要求,需要保留带有明显自身特征的因子,而在其他次要因素上进行创意化变动。从图6可看出,CFS墙体不同细胞单体的变化,其变形性较小,生成性较大,因此细胞遗传性大于变异,生成性原则为主导。

模拟构造 CFS 墙体之前,首先要确定初始细胞,以其为遗传变异的载体,进而需要确定构造方法及其各种参数,从而来描述其演变过程。

在上文中对其主成分的分析,可以确定作为此墙体生成方法中的初始细胞:CFS墙体主要特征是单元的无缝堆叠,由此对单元的边产生限定条件,而三类重复单元分别都由9个多边形体块边缘相拼接而成,9个多边形的形状同样受到拼合边缘条件制约,因此重复单元可以作为此墙体构建的初始细胞。而其生成规则如图8和图9所示。

规则1. 以点A为原点,在x、y轴正方向绘制一条以A为起点,并包含6个顶点的多段线 S_1 ,在生成结果随机中选取3个作为样例;

规则 2. 以 A 为起点, 在 x 轴正方向, y 轴负方向绘制线段 S_2 , 以 S_2 末端顶点为起点, 绘制包含5个顶点的多段线 S_3 ;

规则 3. 复制 S_1 , 并移动复制的多段线移动使其起点与 S_3 末端端点重合; 复制 S_3 , 并移动复制的多段线移动使其起点与 S_1 末端端点重合; 复制 S_2 , 并移动复制线段, 其两个端点分别与 S_1 、 S_3 的复制多段线末端重合。至此, CFS墙体建筑细胞的外边缘生成;

规则 4. 在生成的外边缘内部, 随机生成8个点, 控制其分布范围, 且任意3点不处于同一直线上;

规则 5. 以8个点以及外部多段线顶点作为端点, 绘制线段, 8个点中每一个点作为3条线段的端点, 生成9个体块多边形边缘;

规则 6. 在9个多边形边缘内部, 绘制同样边数的多边形, 绘制时控制其大小;

规则 7. 绘制完整的9个体块多边形形状。

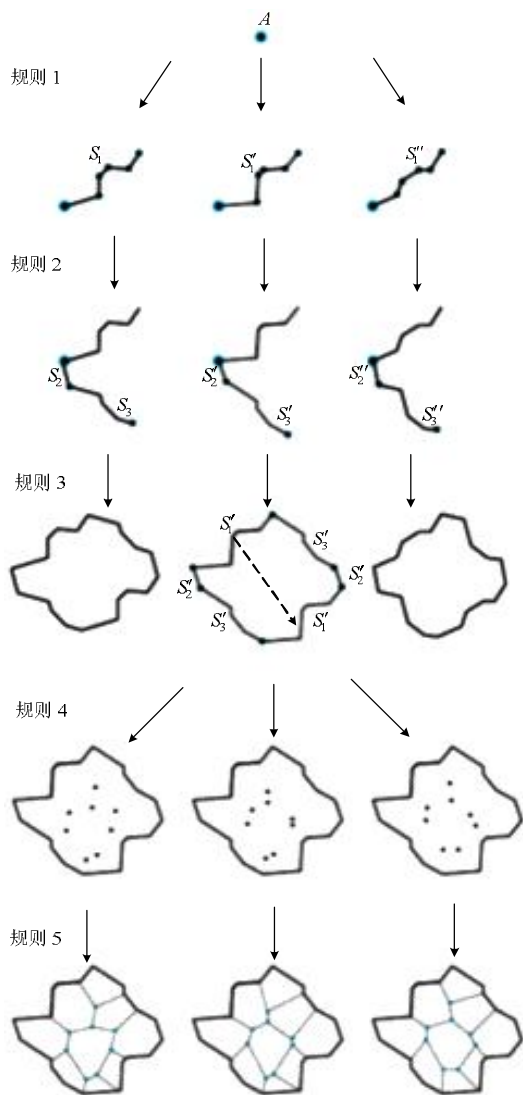


图 8 CFS墙体细胞分裂规则1~5

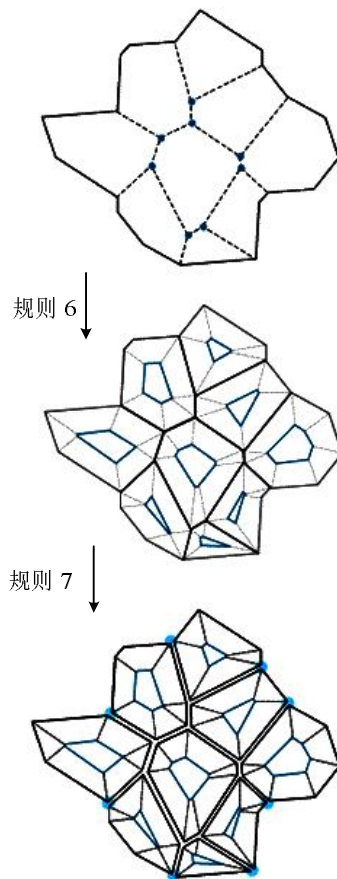


图 9 CFS墙体细胞分裂规则6~7

建筑初始细胞形体构造的编程在执行上述7个规则, 每个规则执行过程中, 允许设计者对于变量进行控制, 譬如, 规则1中多段线构造时的弯折程度、线段长度等。设计者通过对于建筑设计概念以及创造性考量, 改变参数, 在执行每一个细胞生成规则时都能生成包含风格特点, 却形态各异的建筑形体。对于生成的建筑细胞中, 9个体块的建模编程, 取其一为例制定规则来描述其构造方法以及定义编程所需的全部参数。

初始细胞中多边形体块构造方法如图10所示。

- (1) 以规则7生成的内外多边形为其平面图;
- (2) Top视图中, 向内偏移外部多边形, 定义其偏移量;
- (3) 分别定义外部和内部多边形沿 z 轴挤出高度;
- (4) 沿 z 轴移动偏移的多边形, 控制其移动高度, 定义其移动高度;
- (5) 连接顶点创建线段;
- (6) 3D面片的创建。

结合图8~10, 初始细胞的全部参数定义如下:

- (1) 多段线 S_1 、 S_2 、 S_3 , 共包含11个顶点=11个参数;

(2) 多段线的复制、移动与连接构成闭合的边缘形状, 3个参数;

(3) 边缘形状内部8个点的分布位置=8个参数;

(4) 将边缘分割为9个多边形之后, 每个多边形内部绘制多边形, 共包含 $7 \times 2 + 6 \times 3 + 5 \times 3 + 4 \times 1 = 51$ 个参数;

(5) 如图10中所示, 定义初始细胞内, 每一个多边形体块外边缘、挤出高度相等、偏移量相等、偏移多边形z轴移动高度相等, 内部多边形挤出高度相等, 共4个参数。

综上, 生成墙体模型的程序, 一个初始细胞所需的全部参数为77个, 用来描述构建的初始细胞, 选择完表现型方案之后, 每个参数转化为一个二进制编码, 每种编码组合确定唯一的建筑细胞。执行细胞衍生法并建立模型, 选取其中一个生产方案, 得到如图11中9个体块模型。为了更大程度保留墙体原型的建筑风格, 对于规则中变量的控制趋近于墙体原型, 运用生成性的规则生成初始细胞。对其一初始细胞生成模型结果进行渲染如图11所示, 初始细胞通过建筑整体的构成方式堆叠, 结果如图12所示。

通过运行细胞分裂规则, 即每一个建筑初始细胞都由77个参数定义, 控制变量生成, 其生成性规则使得生成的初始细胞有高度的遗传特性。当修改性规则运用到生成过程中, 对77个参数进行修改, 产生的初始细胞更加千变万化, 初始细胞变展现细胞分化的特点。在图13(b)中, 构建初始细胞外边缘时, 将多段线的每一段用3个cv点控制的nurbs曲线绘制, 9个内部多边形同样如此, 增加参变量, 其他规则基本保持不变, 生成结果之一如图14所示。图13(c)中, 改多段线为nurbs曲线, 并控制其绘制范

围, 使其生成为长形的表现性, 生成结果之一如图15所示。图13(a)、(b)、(c)3种初始细胞依然保留边缘可以无缝连接的CFS墙体的特点, 但彼此之间展现出明显的差异性变化, 为设计师的创作提供能丰富多样的参考。

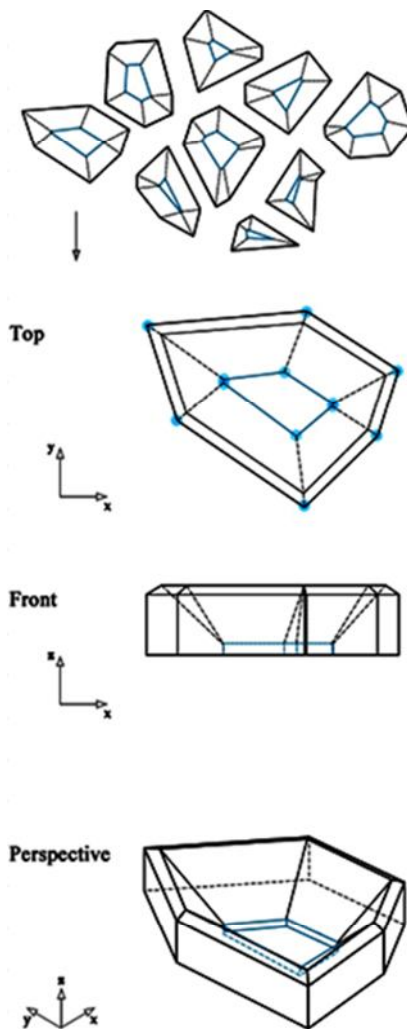


图10 多边形体块建模

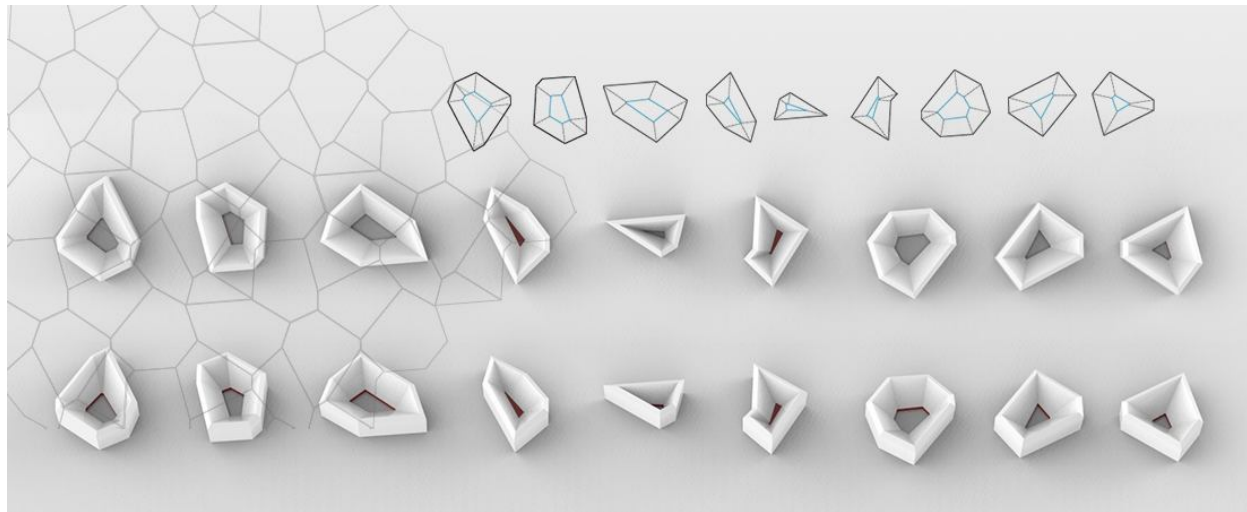


图11 9个体块建模渲染图

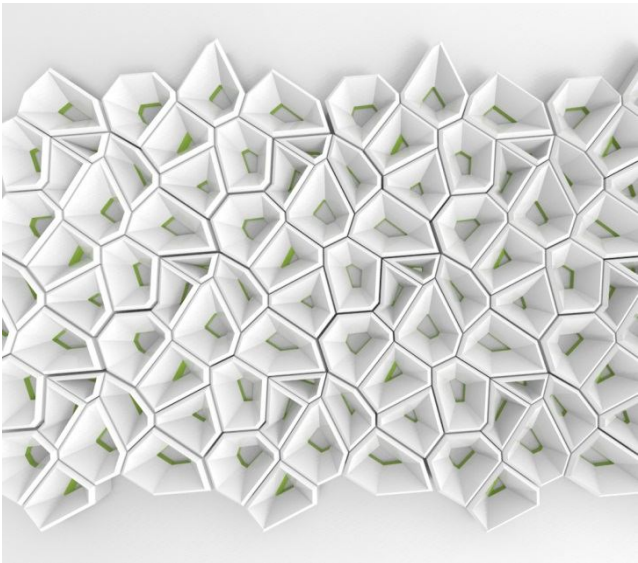
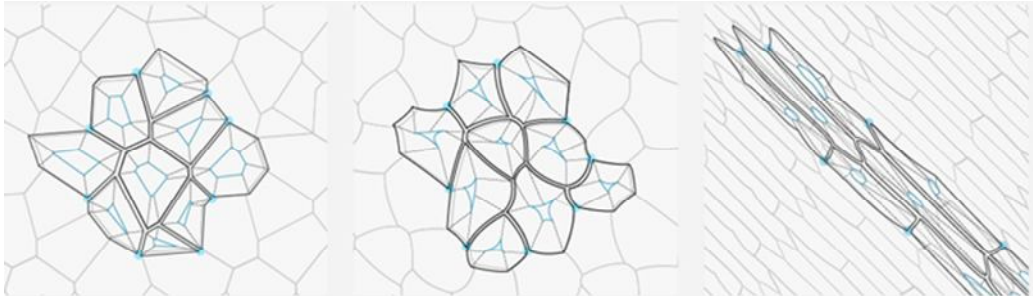


图 12 初始细胞堆叠渲染图



(a) 分裂初始细胞

(b) 分化初始细胞之一

(c) 分化初始细胞之二

图 13 细胞分化



图14 细胞分化生成结果1

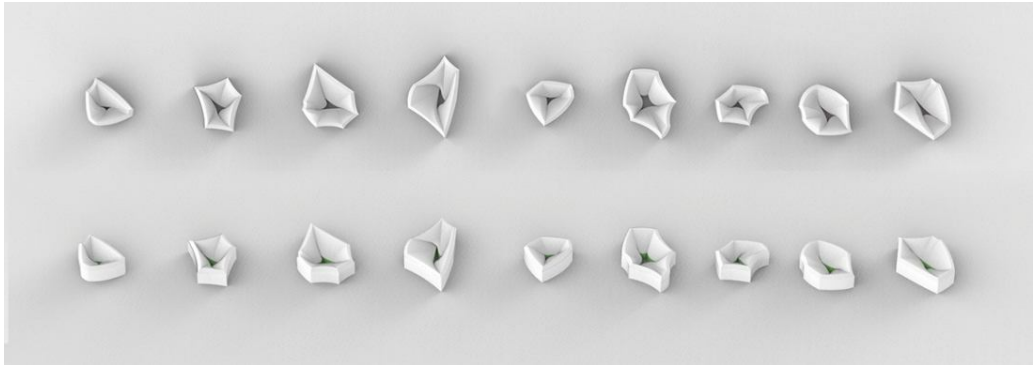


图15 细胞分化生成结果2

2.3 方法评价

对细胞衍生法的运行效果及生成结果的满意度,可采用主观测试的方法来进行。测试采用 Sheffe 提出的二点检验(pair-test)方法^[9]。首先确定一个标准,然后待比较的对象以之作为参考进行比较与评估,试验结果分对比较得出评估结果,使测试的过程相对客观,更为可信。细胞衍生法的提出旨在为设计师所用,因此此次程序运用 maya 内置语言 mel 编写,便于后期的模型渲染,进一步提高设计师在生成过程中的自主性与参与性。

实验过程首先执行生成程序,通过细胞分裂规则,随机挑选 100 个生成结果,通过细胞分化规则,

再随机挑选 100 个生成结果,10 位建筑系学生按照“风格传承性”与“创意性”两个标准进行评估,分为 5 个等级(-2,-1,0,1,2), -2 为最不具有, 2 为最具有。进而,根据其评定选出 10 个最具风格传承性与最具创意性的结果,作为下一步评定标准。最后,依据这个标准,20 位建筑系学生在 500 个生成结果中选出 50 个最优个体,分为 7 个等级打分(-3,-2,-1,0,1,2,3),统计结果如图 16 所示。学生对于风格传承性的期望为 2.24,对创意性的期望为 2.40,而且显而易见,创意性比风格传承性满意度更高。

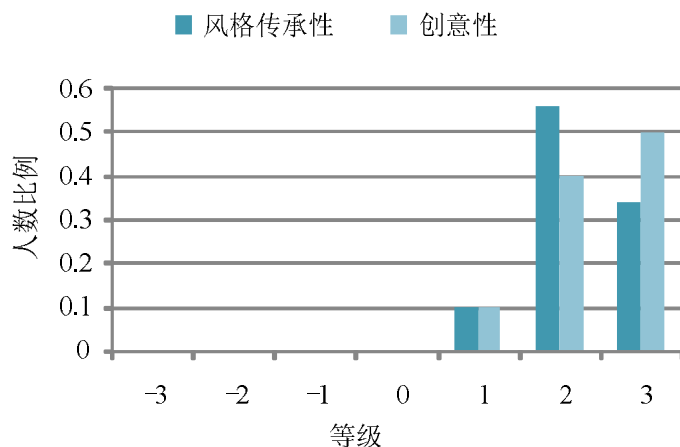


图 16 生成结果满意度

3 总 结

本文提出基于形式语法的建筑设计细胞衍生法,通过类比生物工程细胞分裂与分化模型,建立形式语法与建筑设计细胞族的关系。通过实例分析,首先提取主要成分确定初始细胞,进而确定细胞遗传变异形状规则,形状规则的改变引发细胞分裂和分化,细胞原型变化丰富,最终的设计结果有多种可供选择的优选方案。通过以上论述,阐明细胞衍生法的研究方法与实验步骤,为建筑概念化设计提供有效帮助。

参 考 文 献

- [1] Koh H, Ha S, Kim T, et al. Design knowledge management with reconstructible structure [J]. CIRPAnnals-Manufacturing Technology, 2003, 52(1): 93-96.
- [2] Koh H, Ha S, Kim T, et al. A method of accumulation and adaptation of design knowledge [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, 26(9/10):

943-949.

- [3] Stiny G, Gips J. Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture [M]. Philadelphia: AuerbachPublication, 1972: 125-135.
- [4] March L. Forty years of shape and shape grammar, 1971-2011 [J]. Nexus Network, 2011, 13(1): 5-13.
- [5] 王伟伟, 杨延璞, 杨晓燕, 等. 基于形状文法的产品形态创新设计研究与实践[J]. 图学学报, 2014, 35(1): 73.
- [6] Speller Jr T H, Whitney D. Using shape grammar to derive cellular automata rule patterns [J]. Complex Systems, 2007, 17: 79-92.
- [7] Orsborn S, Cagan J. Multiagent shape grammar implementation: automatically generating form concepts according to a preference function [J]. Journal of Mechanical Design, 2009, 131: 2-3.
- [8] 袁 烽, 尼尔·里奇. 建筑数字化建造[M]. 上海: 同济大学出版社, 2012: 66-69.
- [9] 蚁 平, 曹先彬. 基于交互式遗传算法的个性化建筑物外观设计[J]. 计算机仿真, 2006, 23(5): 1-59.