

分形在建筑造型设计中的应用

王文^{1,2}, 刘弘¹, 王霞²

(1. 山东师范大学信息科学与工程学院, 济南 250014; 2. 山东建筑大学管理工程学院, 济南 250101)

摘要:基于分形算法中的 L-Systems 算法、Shape Grammar 和空间曲面方程理论, 提出了一种支持创新的自动化、智能化计算机辅助建筑造型设计方法。通过计算机程序在较短的时间内生成出多个具有一定分形特征的建筑地坪、墙体及建筑穹顶等三维实体, 并保存到构件库中, 利用构件库的可扩充性实现了设计知识的积累。建筑设计师依据设计需求, 选择构件库中的三维实体, 然后进行人工组装, 设计完成复杂的建筑造型。以一个建筑造型设计为例, 验证了方法的有效性。

关键词:分形; 计算机辅助设计; 造型设计; 建筑设计

中图分类号: TU201.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2009)06-0142-05

Application of Fractals in Architectural Shape Design

WANG Wen^{1,2}, LIU Hong¹, WANG Xia²

(1. School of Information Science and Engineer, Shandong Normal University, Jinan 250014, P. R. China; 2. School of Management, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, P. R. China)

Abstract: A computer-aided method for architectural shape design was developed based on the L-systems algorithm, the shape grammar and the space surface equation theory. Various 3D entities such as building grounds, building walls and building domes with fractal characteristics could be generated in a short time by using the computer program. These generative 3D entities were saved in a component database which could help to accumulate design knowledge through continuous expansion. A building could successfully be formed by the designers through selecting proper building grounds, walls and domes from this database. The effectiveness of the proposed method was approved with a case study.

Key words: fractals; computer aided design; shape design; architectural design

从已有的相关研究看, 分形在建筑设计方面的研究取得了一定的成果, 并成为计算机辅助建筑设计的研究热点。

1987年, Peter Eisenman 和 Yessions 创建了分形建筑设计工作室, 研究在概念设计阶段如何使用二维生成元生成具有分形特征的二维建筑体^[1]。Hansmeyer 通过使用 L-Systems 生成了具有一定韵律的建筑单体^[2]。μαργαριτα A 利用分形几何提出了点支式金属幕墙的设计方法^[3]。

在中国也有一些基于分形的辅助建筑设计研究, 并做了很多探索性的工作, 如山东师范大学通过

与香港理工大学合作, 基于复杂性科学对建筑造型进行了有意义的研究^[4-11], 基于分形的辅助设计是合作项目的一部分。

文献[12]也提出了分形思想用于建筑设计, 但没有给出具体的计算机辅助设计过程。文献[13]描述了在二维环境中利用 Peano 曲线生成二维建筑纹样的过程。

该文在以往工作的基础上, 进一步研究了分形在建筑造型设计中的应用, 提出了一种支持创新的自动化、智能化计算机辅助建筑造型设计方法。该方法采用分形算法中的 L-Systems 算法、Shape

收稿日期: 2009-03-22

基金项目: 国家自然科学基金(60743010); 山东省自然科学基金(Z2008G02)

作者简介: 王文(1978-), 女, 博士生, 主要从事计算机辅助建筑设计研究, (E-mail) iffriend@sdjzu.edu.cn。

Grammar 和空间曲面方程,其中 L-Systems 算法用于建筑地坪设计,Shape Grammar 用于建筑楼体设计,空间曲面方程用于建筑穹顶设计。通过计算机程序在较短的时间内衍生出多个具有一定分形特征的建筑地坪,墙体及建筑穹顶等三维实体,并保存到构件库中,利用构件库的可扩充性实现了设计知识的积累。设计师依据设计需求,选择构件库中的三维实体,然后进行人工组装,设计完成复杂的建筑造型。整个设计过程在三维可视化环境中进行,可视化效果好。同时将分形应用到建筑设计领域,特别是创新设计领域,能够取得传统设计方法所无法得到的结果,并且对拓展设计研究的范围,开展非线性科学与工程交叉研究具有很好的促进作用。

1 分形与建筑

分形是数学的一个新分支,是描述非线性变化几何形态的有力工具,它揭示了大自然的本质,是真正描述大自然的几何学。早在 1973 年,曼德勃罗特(Mandelbrot)就提出分形来自于大自然,是对大自然的一种解释与描绘^[14];而中国建筑一直以来秉承与大自然交融和谐的文化理念,为达到与自然的交融与统一,主要使建筑在外形上接近自然,那么分形与中国建筑因为其共同拥有的“自然”属性而被紧密联系在一起。由于分形接近于自然造型,因而具有很强的环境亲和力,利用分形产生的建筑造型将更能体现中国传统“天人合一”的思想。同时这种复杂造型又是由简单的元素通过简单的规则形成的,能适应工业化的大规模生产,从而具有较强的适用性^[12]。利用分形可以产生不可预测的复杂多变的造型,为建筑师提供了丰富的造型手段和广阔的想象空间,以分形为基础来进行建筑造型设计,将引导出的是一个缤纷的建筑世界,值得期待。

2 建筑造型设计

假设一个建筑单体由 3 部分组成:建筑地坪、墙体和穹顶。首先进行建筑地坪的设计,然后设计墙体和穹顶,最后建筑设计师依据设计需求,选择构件库中的三维实体,进行人工组装。

2.1 建筑地坪纹样设计

3.1.1 L-Systems 的龟形图法 L-Systems 是生成分形图的一个比较重要的算法。该算法是是美国生物学家 Lindenmayer 在 1968 年引入并行重写系统(parallel rewriting system),后被 Smith 等引入计算机图形学中。在具体的分形图生成过程中,主要使用龟形图法。

在龟形图法中,用 3 个向量表示乌龟行走的方向: H 表示向前, L 表示向右, U 表示向上,而且满足 $H \times L = U$ 。乌龟的状态用六元组 (x, y, z, H, L, U) 表示,其中 x, y, z 表示坐标。令为旋转矩阵,乌龟行走的方向的改变表示为 $(H_1, L_1, U_1) = (H, L, U)R$ 。绕 U 逆时针方向旋转 θ 角的旋转矩阵用 $R_u(\theta)$ 示,绕 L 及绕 H 的旋转分别用 $R_l(\theta)$ 及 $R_h(\theta)$ 表示,则有:

$$R_u(\theta) = \begin{Bmatrix} c & s & 0 \\ -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

$$R_l(\theta) = \begin{Bmatrix} c & 0 & -s \\ 0 & 1 & 0 \\ s & 0 & c \end{Bmatrix}$$

$$R_h(\theta) = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c & s \\ 0 & -s & c \end{Bmatrix}$$

其中, $c = \sin\theta, s = \cos\theta$ ^[15]。

在 L-Systems,通常采用以下符号控制乌龟行走的转向控制,也可以自己定义符号:

- + : 左转 δ 角,用矩阵 $R_u(\delta)$;
- : 右转 δ 角,用矩阵 $R_u(-\delta)$;
- &. : 绕 L 下转 δ 角,用矩阵 $R_l(\delta)$;
- ^ : 绕 L 上转 δ 角,用矩阵 $R_l(-\delta)$;
- / : 绕 H 左转 δ 角,用矩阵 $R_h(\delta)$;
- \ : 绕 H 右转 δ 角,用矩阵 $R_h(-\delta)$
- F : 从当前位置向前一步,同时画线。

3.1.2 分形图的绘制 利用 L-Systems 生成分形图,生成流程可以描述如下,如图 1 所示:

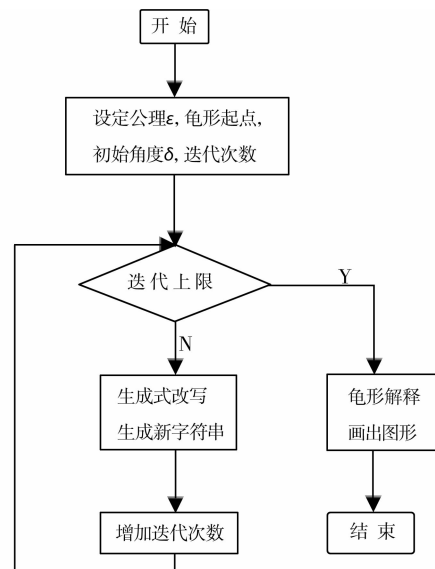


图 1 L-Systems 图像生成流程

由龟形图法和表 1 的生长规则,通过图 1 中的

流程可得到一系列不同的分形图,如表 1 所示,其中 ϵ 表示公理, δ 表示旋转角度, P 表示生长规则, N 表示迭代次数, X 表示在 XY 平面内逆时针旋转 δ ,

x 表示在 XY 平面内顺时针旋转 δ , z 表示在 XZ 平面内顺时针旋转 δ , Z 表示在 XZ 平面内逆时针旋转 δ , F 表示向前一步,同时画一定长度和半径的圆柱。

表 1 生长规则和生成的相应的三维分形图

ID	ϵ	δ	P	$N=1$	$N=2$	$N=3$
1	$FxFxFxFxF$	72	$F = FxFxFxFxFxFxFxz$			
2	$FxFxFxFxFxF$	60	$F = ZZxFXFXFXFXF$			
3	$LxxFxxLxxF$	45	$P_1 : L = XRxFxRX$ $P_2 : R = xLXFxLx$			
4	L	90	$P_1 : R = xLFLFXRFRFRFXFXRFxLFLxFR$ $P_2 : L = LFXRFRXFLxFxLFLFLxFRFRX$			
5	$-P$	90	$P_1 : P = PFQFPXFXQFPFQxFxPFQFP$ $P_2 : Q = QFPFQxFxPFQFPXFXQFPFQ$			

3.1.3 建筑地坪设计 将表 1 中生成的分形图,沿文献[13]建筑纹样生成的思想,但不同于文献[13]的是文中提出的建筑地坪设计是在 3D 环境中进行,生成不同的地坪设计方案,并被放在计算机的构件库中,方便扩充和共享使用,同时设计更加灵活方便,可视化效果更好。设计得到的不同纹样的建筑地坪如图 2 所示,其中图 2(a)是表 1 中 $ID = 1$,迭代 3 次进行的建筑地坪设计,图 2(b)是表 1 中 $ID = 2$,迭代 3 次进行的建筑地坪设计,图 2(c)是表 1 中 $ID = 3$,迭代 3 次进行的建筑地坪设计,图 2(d)是表 1 中 $ID = 4$,迭代 3 次进行的建筑地坪设计,图 2(e)是表 1 中 $ID = 5$,迭代 3 次进行的建筑地坪设计。

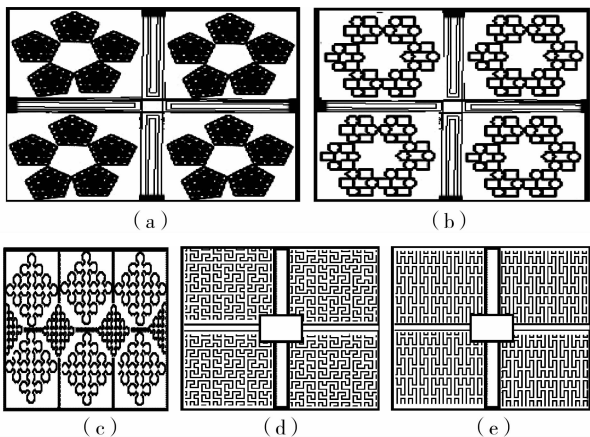


图 2 不同纹样的建筑地坪

3.2 Shape Grammar 与墙体衍生

3.2.1 Shape Grammar Shape Grammar 是由 George Stiny 和 James Gips 于 1972 年提出的以形状运算为主的设计方法。该方法由初始元搭配一定的规则组成,规则不同产生的造型也就不同,也就是说 Shape Grammar 的衍生过程是由初始元开始,经由造型规则在不同阶层中的转换而产生新的一系列造型。
3.2.2 衍生规则 定义初始元为球体,立方体和四棱锥体,分别用符号 C、S、T 表示。衍生规则的解释如表 2 所示。

表中的物体可以是 S、C 或者是 T,表 2 中“结合一个初始物体”,是指可以分别结合 S、C、T,则可以得到 12 条规则,如表 3 所示。为了避免分割的界限模糊不清,表 2 中规则 2 采取从物体的中点进行分割。为了避免造型形状难以控制,表 2 规则 3、规则 4 中放大和缩小都采取等比例缩小和放大。物体的结合方式可上下结合,也可以侧面结合,结合位置设定为如图 3 所示,以物体中心点图 3(a)及物体边缘图 3(b)及物体侧面图 3(c)来做结合。

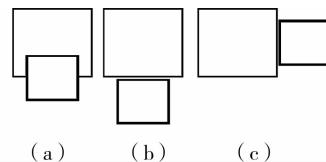


图 3 结合位置

表 2 衍生规则解释

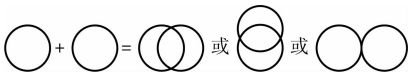
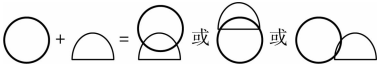

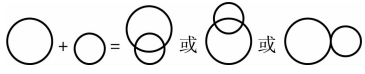
规则	规则描述	举例说明
1	结合一个初始物体	
2	结合一个分割后的物体	
3	结合一个放大后的物体	
4	结合一个缩小后的物体	

表 3 衍生规则

衍生规则	造型元素	规则描述
C1	球体	结合一个初始球体
C2	球体	结合一个分割后的球体
C3	球体	结合一个放大后的球体
C4	球体	结合一个缩小后的球体
T1	四棱锥	结合一个初始四棱锥体
T2	四棱锥	结合一个分割后四棱锥体
T3	四棱锥	结合一个放大后的四棱锥体
T4	四棱锥	结合一个缩小后的四棱锥体
S1	立方体	结合一个初始立方体
S2	立方体	结合一个分割后立方体
S3	立方体	结合一个放大后的立方体
S4	立方体	结合一个缩小后的立方体

3.2.3 墙体衍生实验 在墙体的衍生实验中,选择立方体作为初始元,配合加入 S2 规则,并配合图 3 的结合方式(c)旋转 360°后所产生的造型如图 4(a);选择四棱锥体作为初始元,配合加入 T2 规则并配合图 3 的结合方式(c)旋转 360°后所产生的造型如图 4(b);选择立方体作为初始元,配合加入 T2 规则,并配合图 3 的结合方式(c)旋转 360°后所产生的造型如图 4(c)。

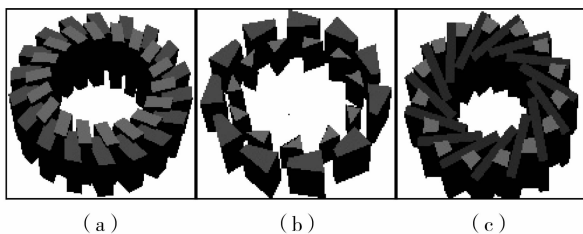


图 4 衍生的简单例子

从理论上讲衍生规则可以无限次的嵌套组装,产生的造型也是无限的。

3.3 建筑穹顶设计

穹顶的建模与计算机设计主要采用文献[11]的方法,即以分形几何,空间曲面方程为理论基础,通过一定的选点规则进行设计。通过该方法生成分形特征的幕墙结构可以作为建筑单体的穹顶,将生成的不同曲面穹顶放入构件库,以方便下一步组装。

3.4 建筑穹顶、建筑墙体与建筑地坪的组装

该组装过程选择采用人工组装,设计师可以从构件库中任意选择元素,形成不同的设计方案,这种组装的优点在于设计师可以根据经验,对要形成的设计方案提前有一个感观认识,在组装过程中可以不断调整,比较适合传统的设计方式^[5]。通过对不同的元素进行组合可以得到不同的组合方案,为了简单说明问题,选择建筑地坪图 2(b)、建筑墙体图 4(a)和穹顶文献[11]中的图 2(a)在可视化环境中进行组装,如图 5,其中图 5(a)线框图,图 5(b)透视图。对建筑元素的评价通过建筑师的主观评价进行析,选择可行方案。

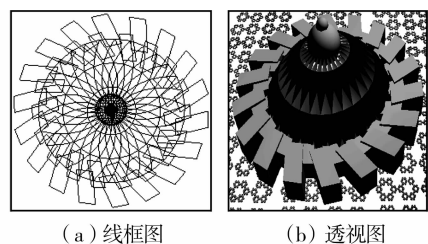


图 5 建筑单体

4 结 论

文中基于分形方法研究建筑造型的设计,和 Peter 等设计的二维建筑相比,生成的建筑体是三维的,可视化效果更好。Hansmeyer 使用 L-Systems 算法生成建筑单体,生长过程完全随机,可控能力

差,而文中是将一个三维建筑单体分成穹顶、楼体和建筑地坪 3 类构件,并且将这些构件放入构件库,有利于人工选择或者利用智能搜索算法进行较优选择和装配,增强了操作过程的可控性;并且文中提出的设计方法除了使用分形的 L-Systems 算法外,在设计方法中添加了 Shape Grammar 算法,使得生成的建筑造型更加多样化。 $\mu\alpha\rho\gamma\alpha\rho\iota\tau\alpha$ A 从力学的角度来使用分形思想,该文提出设计方法主要是从美学的角度来使用分形的思想。李效梅等仅仅提出了的分形思想可用于建筑设计,而该文给出具体的基于分形思想的计算机辅助设计过程。

参考文献:

- [1] YESSIONS C I, EISENMAN P. A fractal studio: integrating computers into the architectural curriculum [C]//ACADIA Conference Proceedings. Raleigh: The North Carolina Press, 1987: 169-182.
- [2] HANSMEYER M. L-Systems in architecture [EB/OL]. (2007-12-19) [2008-9-15]. <http://www.mh-portfolio.com/indexF.html>.
- [3] ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ Α. Διερεύνηση Τη Σελει Τουργια Σ και μορφολογια Σ με Τη χρήση Τη Σ fractal γεωμε Τρα Σ[D]. Ελλάδα: Αρισ Το Τελειο Πανεπισ Τημιο, 2004.
- [4] 刘弘,刘希玉.支持外观造型创新设计的计算机辅助设计环境[J].计算机辅助设计与图形学学报,2003,15(10):1258-1262.
LIU HONG, LIU XI-YU. An evolutionary computing approach for supporting creative configuration design [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2003, 15(10): 1258-1262.
- [5] 刘弘,李焱.遗传算法在建筑概念设计中的应用[J].软件学报,2006,17(1):161-168.
LIU HONG, LI YAN. Application of genetic algorithm in architectural conceptual design [J]. Journal of Software, 2006, 17(1): 161-168.
- [6] 刘弘,王静莲.微粒群优化算法在协同建筑设计中的应用[J].通信学报,2006,27(11):193-197.
LIU HONG, WANG JING-LIAN. Application of particle swarm optimization in cooperative architectural design [J]. Journal on Communications, 2006, 27(11): 193-197.
- [7] LIU HONG, TANG MING-XI, FRAZER J H. Supporting creative design in a visual evolutionary computing environment [J]. Advances in Engineering Software, 2004, 35(5): 261-271.
- [8] LIU HONG, TANG MING-XI. Evolutionary design in a multi-Agent design environment [J]. Applied Soft Computing Journal, 2006, 6(2): 207-220.
- [9] LIU HONG, TANG MING-XI, FRAZER J H. Supporting evolution in a multi-Agent cooperative design environment [J]. Advances in Engineering Software, 2002, 33(6): 319-328.
- [10] WANG WEN, LIU HONG. A computer-aided harmonious architecture design method based on fractals [C]//the 4th International Conference on Natural Computation. IEEE Computer Society, 2008: 323-327.
- [11] 王文,刘弘.基于分形几何的玻璃幕墙的创新设计[J].山东大学学报:理学版,2008,43(11):31-34.
WANG WEN, LIU HONG. Computer-aided design of a surface glazing wall based on fractals [J]. Journal of Shandong University: Natural Science, 2008, 43(11): 31-34.
- [12] 李效梅,黄颖星.复杂性科学与建筑[J].重庆建筑大学学报,2007,29(4):22-26.
LI XIAO-MEI, HUANG YING-XING. Complex science and architecture [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2007, 29(4): 22-26.
- [13] 李刚,徐人平.基于 Peano 曲线的几何条纹形建筑纹样设计[J].重庆建筑大学学报,2007,29(5):49-52.
LI GANG, XU REN-PING. Design in geometry-quadratic -equation successive lines with Peano-scan [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2007, 29(5): 49-52.
- [14] MANDELBROT B. The fractal geometry of nature [M]. New York: Freeman & Co, 1983.
- [15] PRUSINKIEWICZ P. The algorithmic beauty of plants [M]. New York: Springer-Verlog, 1990.

(编辑 胡英奎)