

文章编号:1001-9081(2010)06-1565-03

## 基于模板分形的建筑陶瓷图案设计

彭永康,章义来,田 原

(景德镇陶瓷学院,江西 景德镇 333001)

(pengyk@21cn.com)

**摘 要:**建筑陶瓷产品的二方、四方连续平铺应用要求图案必须满足产品应用的无缝拼接处理。讨论了在建筑陶瓷图案设计过程中图案创作的步骤,分析了建筑陶瓷图案的应用特点。深入研究了模板与分形相结合的图案生成原理,在模板和分形技术基础上提出并实现了一种基于模板分形的建筑陶瓷图案生成算法。该算法生成的图案具有明显的二方、四方连续特征,可以满足建筑陶瓷产品应用需求。

**关键词:**模板;分形;陶瓷图案;建筑陶瓷图案

**中图分类号:** TP311 **文献标志码:** A

## Architectural ceramic pattern design based on fractal template

PENG Yong-kang, ZHANG Yi-lai, TIAN Yuan

(Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen Jiangxi 333001, China)

**Abstract:** It is a request for application of the architectural ceramic's 2-linear tiling and 4-linear tiling to satisfy the product's consecutive tiling process. This paper discussed the steps to design an architectural ceramic pattern, and analyzed the application of the architectural ceramic patterns. This paper studied the principle of the architectural ceramic patterns' generation which was based on integration of the pattern template and the fractal in detail, proposed and achieved its algorithm at last. The obtained patterns have obvious characteristics of 2-linear tiling and 4-linear tiling and satisfy the application requirement of the architectural ceramics.

**Key words:** template; fractal; ceramic pattern; architectural ceramic pattern

### 0 引言

分形图案是指在无标度意义下具有无穷细节的自相似图形,是无序和变幻无穷的美的体现。在图案设计中,利用分形的自相似性,可以构造出千变万化而又具有任意高分辨率结构的艺术图案<sup>[1]</sup>。在L系统中引入控制参数,可获得逼真的动态自然景观<sup>[2]</sup>,如果L系统中引入的参数是可变参数,则L系统可用于构造参数可变的三维树木通用模型,获得较好的高真实自然植物模拟效果<sup>[3]</sup>。此外,基于矩阵Kroneckor积的分形矩阵技术<sup>[4-5]</sup>应用于纺织业图案的设计,也取得了不错效果,文献[6]则将纹理合成技术应用于分形图案的色彩处理。

建筑陶瓷图案的生成需经历构思→草图设计→细化求精→填色等步骤,才最终生成一幅图案。由于建筑陶瓷产品应用的特殊性,图案主要应用于瓷砖(墙地砖)等具有平面分布特征的产品上。建筑陶瓷产品的应用过程中,大量存在同一产品呈现二方、四方连续分布的应用实例,产品平铺过程中图案的无缝拼接处理是图案设计过程中不可回避的问题。

本文提出的基于模板的分形技术的建筑陶瓷图案设计,可以在二维离散空间中应用分形技术来生成基于模板控制的分形图案,图案的构成取决于模板的选择与设计,如果模板本身是对称的(包括二方对称与四方对称),则生成的分形图案自身具备了二方或四方连续平铺处理中的无缝拼接的能力。

### 1 原理

分形的最显著特点是自相似性。分形图形生成的数学基础是迭代<sup>[6]</sup>。通过分形迭代,可以由简单的数学公式生成效果令人难以想象的图形。模板是图案的宏观概括,模板通常是一个比目标图案小得多的图案,模板内数据的构成决定了最终图案的总体特征。以模板为初始图案模板,应用分形迭代算法对初始图案的每个数据与模板进行Kroneckor运算,如此不断迭代下去,以丰富模板细节;达到指定的迭代次数后,再将最终模板按指定色调转换为图案。由于分形的自相似性,分形迭代生成的图案与模板是相似的。

**定义1** 模板是一 $m \times n$ 阶的像素陈列,其定义了要生成的分形图案的总体结构,同时亦决定了最终生成图案的内容。模板记为 $M_{\text{mp}}(u,v)$ ,其中 $u \in [0, m-1], v \in [0, n-1]$ 。

**定义2** 若分形迭代中第 $i$ 次迭代生成的分形图案记为 $G^{[i]}(x,y)$ ,则基于模板 $M_{\text{mp}}(u,v)$ 分形的第 $i+1$ 次迭代生成的图案为 $G^{[i+1]}(x,y)$ ,见式(1)~(3)。

$$G^{[i+1]} = \{g^{[i+1]}(x,y) \mid 0 \leq x < \text{width}(G^{[i]}) \wedge 0 \leq y < \text{height}(G^{[i]})\} \quad (1)$$

$$g^{[i+1]}(x,y) = H(g^{[i]}(x,y), T(M_{\text{mp}}(u,v))) \quad (2)$$

$$G^{[0]} = M_{\text{mp}}(u,v) \quad (3)$$

式(1)~(3)表明,在选定模板 $M_{\text{mp}}(u,v)$ 后,令 $G^{[0]} = M_{\text{mp}}(u,v)$ ,即模板即为初始迭代图案,如迭代次数为0,最终图案即为模板自身(见式(3))。

式(2)意味着第 $i+1$ 次迭代生成的分形图案 $G^{[i+1]}$ 的每一元素 $g^{[i+1]}(x,y)$ 由 $G^{[i]}$ 图案的元素 $g^{[i]}(x,y)$ 与经T算子运

收稿日期:2010-02-21;修回日期:2010-04-08。 基金项目:国家863计划项目(2009AA043507)。

作者简介:彭永康(1970-),男,云南永胜人,副教授,主要研究方向:CAD、计算机图形学、多媒体处理; 章义来(1965-),男,安徽贵池人,教授,博士,主要研究方向:CAD; 田原(1972-),女,内蒙古呼和浩特人,副教授,主要研究方向:软件工程、管理信息系统。

算处理后的模板  $M_{\text{imp}}(u, v)$  经过迭代运算  $H$  迭代生成, 元素  $g^{[i+1]}(x, y)$  为分形图案中位于位置  $(x, y)$  处的子图案。其中:  $T$  算子代表对模板进行的若干变换操作, 如对称、转置等。

式(1)~(3)表明图案  $G^{[i+1]}$  是由  $m \times n$  大小的子图案  $g^{[i+1]}(x, y)$  平铺形成的四方连续阵列。

**定义3** 设图案的分形模板为  $M_{\text{imp}}(u, v), u \in [0, m-1], v \in [0, n-1]$ , 则算子  $T$  可完成如下操作。

1) 转置。

转置操作就是将大小为  $m \times n$  的模板  $M_{\text{imp}}(u, v)$  的行列互换, 形成大小为  $n \times m$  的新模板  $M_{\text{imp}}^T$ , 可表示为:

$$\begin{cases} P_{m \times n} = M_{\text{imp}}^T \\ p_{i,j} = M_{j,i}, i \in [0, m], j \in [0, n] \end{cases} \quad (4)$$

2) 对称。

对称操作根据对称轴不同, 可将对称操作分为  $x$  对称,  $y$  对称, 中心对称等, 分别表示为  $m_x, m_y, m_{x-y}$ 。

a)  $x$  对称  $m_x$ : 以图案  $M_{\text{imp}}$  水平中轴线为对称轴, 对图案进行对称操作。

$$\begin{cases} P_{m \times n} = m_x(M_{\text{imp}}) \\ p_{i,j} = M_{m-i-1,j}, i \in [0, m], j \in [0, n] \end{cases} \quad (5)$$

b)  $y$  对称  $m_y$ : 以图案  $M_{\text{imp}}$  垂直中轴线为对称轴, 对图案进行对称操作。

$$\begin{cases} P_{m \times n} = m_y(M_{\text{imp}}) \\ p_{i,j} = M_{i,n-j-1}, i \in [0, m], j \in [0, n] \end{cases} \quad (6)$$

c) 中心对称  $m_{x-y}$ : 以图案  $M_{\text{imp}}$  中心点为对称基点, 对图案进行对称操作。

$$\begin{cases} P_{m \times n} = m_{x-y}(M_{\text{imp}}) \\ p_{i,j} = M_{m-i-1,n-j-1}, i \in [0, m], j \in [0, n] \end{cases} \quad (7)$$

3) 复制。

复制图案  $M_{\text{imp}}$  到图案  $P_{m \times n}$ 。复制操作可表示为:

$$P_{m \times n} = M_{\text{imp}} \quad (8)$$

**定义4** 设图案  $z$  为  $z(i, j), i \in [0, m], j \in [0, n]$ , 则迭代算子  $H(x, z)$  的主要功能是决定  $x$  与图案  $z$  如何进行运算, 并合成新的单元模板, 有如下种类。

1) ADD 迭代 (+)。又称加法迭代, 其主要的特点是对模板  $z$  中的每个元素, 均令其与元素  $x$  相加后, 作为新的单元模板  $P$  的元素。可记为:

$$P_{i,j} = x + z(i, j); i \in [0, m], j \in [0, n] \quad (9)$$

2) MUL 迭代 ( $\times$ )。又称乘法迭代, 其主要的特点是对模板  $z$  中的每个元素, 均令其与元素  $x$  相乘后, 作为新的单元模板  $P$  的元素。可记为:

$$P_{i,j} = x \times z(i, j); i \in [0, m], j \in [0, n] \quad (10)$$

3) OR 迭代 ( $\vee$ )。又称按位或迭代, 其主要的特点是对模板  $z$  中的每个元素, 均令其与元素  $x$  按位或运算后, 作为新的单元模板  $P$  的元素。可记为:

$$P_{i,j} = x \vee z(i, j); i \in [0, m], j \in [0, n] \quad (11)$$

4) AND 迭代 ( $\wedge$ )。又称按位与迭代, 其主要的特点是对模板  $z$  中的每个元素, 均令其与元素  $x$  按位与运算后, 作为新的单元模板  $P$  的元素。可记为:

$$P_{i,j} = x \wedge z(i, j); i \in [0, m], j \in [0, n] \quad (12)$$

5) XOR 迭代 ( $\oplus$ )。又称按位异或迭代, 其主要的特点是对模板  $z$  中的每个元素, 均令其与元素  $x$  按位异或运算后, 作为新的单元模板  $P$  的元素。可记为:

$$P_{i,j} = x \oplus z(i, j); i \in [0, m], j \in [0, n] \quad (13)$$

## 2 基于模板分形图案生成算法

在本文述及的基于模板的图案分形算法中, 定义1中的模板  $M_{\text{imp}}(u, v)$  即是图案生成的初始图案(见式(3)), 模板  $M_{\text{imp}}(u, v)$  内各元素构成, 同时决定了由该模板进行分形生成的图案的最终效果。同时, 模板具有概要性与全局性, 模板元素的取值反映生成图案的初始轮廓, 在应用分形算法进行不断的分形迭代细化后, 即可生成具有无穷细节的分形自相似图案。

在算法起始, 设定分形生成的初始图案  $G^{[0]}$ (见式(3)), 在此亦可将该过程看作是指定图案生成的分形草图。

令所有  $T$  算子(见定义3, 式(4)~(8))构成的算子集合为  $T$ , 则

$$T = \{t, m_x, m_y, m_{x-y}, c\} \quad (14)$$

令分形迭代函数  $H$ (见定义4, 式(9)~(13))的所有分形迭代处理构成集合  $H$ , 则

$$H = \{\wedge, \vee, \oplus, +, \times\} \quad (15)$$

在式(14)与(15)的支持下, 生成图案的第  $i+1$  次分形迭代过程中, 分形迭代公式(见式(2))可表示为式(16), 则第  $i+1$  次分形生成的图案  $G^{[i+1]}$  中的每一个元素  $g^{[i+1]}(x, y)$  可由式(16)生成:

$$g^{[i+1]}(x, y) = g^{[i]}(x, y) \otimes \tau(M_{\text{imp}}); \otimes \in H, \tau \in T \quad (16)$$

其中:  $g^{[i+1]}(x, y)$  为元素  $g^{[i]}(x, y)$  与  $T$  算子处理后的图案模板  $\tau(M_{\text{imp}})$  的类 Kronecker 积。

从  $G^{[0]}$  开始, 应用式(16)连续迭代  $n$  次后, 所生成的图案  $G^{[n]}$  即为最终图案。

基于模板的建筑陶瓷图案生成算法描述如下:

function makePattern ( Pattern, h, Tp, lhue )

//Pattern 为构图模板;

//h 为分形迭代算子

//Tp 为每次迭代的  $T$  算子预置队列;

//lhue 为图案色调

{

$G \leftarrow \text{Pattern};$

$P \leftarrow \text{NIL};$

for  $i \leftarrow 0$  to length(Tp) step 1

begin

$\tau \leftarrow \text{Tp}. \text{GetItem}(i);$

$\otimes \leftarrow \text{Translate}(h);$

for all  $g_{x,y}$  in  $G$  do

$p_{x,y} = g_{x,y} \otimes \tau(\text{Pattern});$

// 式(16)

reallocate the memory of  $G$  to fit  $P$ ;

$G \leftarrow P;$

end;

Adjust the hue of pattern  $G$  by lhue

return  $G$ ; }

## 3 算法执行结果分析

算法执行结果见图1所示。从中可看出: 在基于模板分形的建筑陶瓷图案生成算法生成图案的过程中, 只要模板选择或设计时注意保持模板的对称, 则算法生成的图案亦是对称的, 可以满足应用该图案的建筑陶瓷图案在建筑业应用中的无缝拼接, 保证产品的应用效果。图1中的所有图案均具有实现二方、四方连续平铺时保证其在产品应用中的无缝拼接的能力, 这是由生成图案的模板的对称特征决定的。

本文提出的算法生成图1所示图案使用的模板、相关参

数及算法结果见表1。

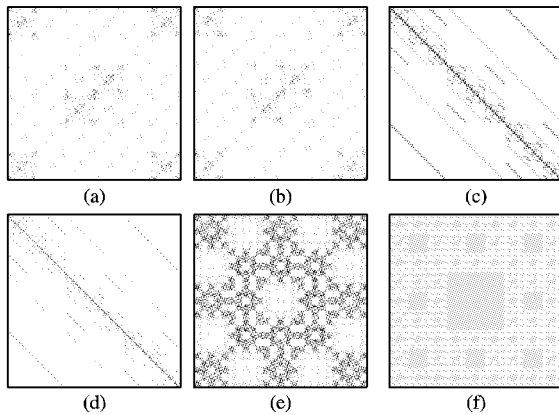


图1 基于模板分形的陶瓷图案样例

表1 基于模板分形算法用例参数及结果






序号	模板 规格 样图	迭代次数	模板空间	图案
1	5×5 	3	$(5 \times 5)^3$	图1(e)
2	6×6 	3	$(6 \times 6)^3$	图1(a)、(b)
3	3×3 	4	$(3 \times 3)^4$	图1(f)
4	3×3 	3	$(3 \times 3)^3$	图1(c)
5	3×3 	4	$(3 \times 3)^4$	图1(d)

表1列出了算法使用的3×3模板2个,5×5模板、6×6模板各1个,应用本算法迭代表1中迭代代数列出的次数后,生成的模板经色调处理后生成的陶瓷图案如图1所列。由表1所列的5组数据可知,当算法指定的模板为 $m \times n$ 规格的模板时,如算法总共迭代 $k$ 次,则迭代完成后算法最终生成的

图案模板的内在空间规模为 $(m \times n)^k$ ,表明随迭代次数的增加,算法生成的模板空间以 $m \times n$ 倍规模迅速增加。纵观本文所列的5次实验用例迭代生成的最终图案及迭代次数,可以发现应用模板分形生成图案的迭代次数通常为3~5次,绝大多数情况下迭代3次即可取得较满意的结果。表1所列的第4~5次应用可以发现,生成的最终图案(见图1(c)~(d))差别不大,甚至图1(c)拥有比图1(d)更丰富的图案细节。

#### 4 结语

本文重点讨论了在建筑陶瓷图案设计过程中图案创作的步骤,分析了建筑陶瓷行业的应用特点,对模板与分形相结合的图案生成技术作了深入研究,在模板、分形技术基础上的提出并实现了一种基于模板分形的建筑陶瓷图案生成算法。算法生成的图案取决于模板的选择,图案内容充分体现的分形图形的自相似特征,最终图案足以满足建筑陶瓷行业应用需求,而计算机生成图案的自动、实时、多变的特点又有助于建筑陶瓷业增加产品的花色,满足用户的不同需求。该算法已在陶瓷图案CAD系统中成功应用。

#### 参考文献:

- [1] 王小铭. 分形图案的构图艺术及其计算机实现[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(1): 83-86.
- [2] 孙天凯, 邵晓根, 王兴元. 扩展的分形L-系统与自然景观的动态模拟[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(2): 182-185.
- [3] 王万根, 余小清, 等. 基于几何参数的植物真实感模拟[J]. 计算机应用, 2009, 29(1): 97-100.
- [4] 王小铭, 李福清. 基于分形矩阵的编织物图案设计与生成[J]. 纺织学报, 2003, 8(24): 317-319.
- [5] BARB A. On a class of fractal matrices (I): Excess matrices and their self-similar properties[J]. International Journal of Bifurcation and Chaos, 1992, 2(4): 841-860.
- [6] 魏宝刚, 庞向斌, 朱文浩, 等. 基于纹理渲染的分形图案设计[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(5): 689-694.
- [7] GRÜNBAUM B, SHEPHARD G C. Tilings and patterns [M]. New York: Freeman, 1987.

(上接第1542页)

合,提出了一种新的数据流分类识别方法。该算法在基于总体最小二乘法上,可灵活设置数据基准窗口、最大窗口、分割点阈值,并采用可变滑动窗口算法。因此其可根据具体应用领域状况,对数据流进行相应的动态特征提取,提高了适应性及趋势分析精度。在此基础上,利用神经网络强大的学习能力和映射能力,对数据流进行分类识别,以对状态进行诊断或提供决策支持。该方法在某铝厂电解槽上进行的实时测试结果表明,该算法能准确分析槽电压实时趋势变化及电解槽工作状态。

#### 参考文献:

- [1] MELEK W W, LU Z, KAPPS A, *et al.* Comparison of trend detection algorithms in the analysis of physiological time-series data [J]. IEEE Transactions on Biomed Engineering, 2005, 52(4): 639-651.
- [2] KOSKI A, JUHOLA M, MERISTE M. Syntactic recognition of ECG signals by attributed finite automata[J]. Pattern Recognition, 1995, 28(12): 1927-1940.
- [3] SHATKAY H, ZDONIK S. Approximate queries and representations for large data sequences [C]// Proceedings of 12th IEEE International Conference on Data Engineering. Washington: IEEE Computer Society, 1996: 546-553.
- [4] KEOGH E, CHU S, HART D, *et al.* Segmenting time series: A

survey and novel approach [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Data Mining. Los Jose: IEEE Computer Society, 2001: 289-296.

- [5] SYLVIE C, CARLOS G B, CATHERINE C, *et al.* Trends extraction and analysis for complex system monitoring and decision support [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2005, 18(1): 21-36.
- [6] 张贤达. 矩阵分析与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [7] 汪成亮, 陆志坚, 庞栩. 一种数据流趋势分析方法的研究与应用[J]. 计算机系统与应用, 2010, 19(1): 152-156.
- [8] 周黔, 吴铁军. 一种动态数据流的实时趋势分析算法[J]. 控制与决策, 2008, 23(10): 1182-1185.
- [9] 杨云, 孙群, 朱长青. 曲线数据压缩的总体最小二乘算法[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2008, 35(5): 946-950.
- [10] 周志华, 曹存根. 神经网络及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [11] LEE S C, HEINBUCH D V. Training a neural-network based intrusion detector to recognize novel attacks [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 2001, 31(4): 294-299.
- [12] 汪成亮, 罗昌银, 庞栩, 等. 基于工况槽况的电解生产控制研究及实现[J]. 轻金属, 2009(4): 24-28.