

一种新的图案纹样生成方法^①

赵海英^{1,2}, 惠雯¹, 徐光美³

¹(北京科技大学 信息工程学院, 北京 100083)

²(新疆师范大学 计算机科学技术学院, 乌鲁木齐 830054)

³(北京联合大学 信息工程学院, 北京 100101)

摘要: 解决如何用计算机生成具有民族风格的纹样的图案是一个富有挑战的问题。提出一种图案生成方法, 基于图案基元的变换来快速生成具有民族风格的图案。首先, 引入交互分割模型提取图案中具有代表性的意义相对独立的图案基元。设计图案基元的相似变换规则, 产生分形基元矩阵。然后引入准 Arnold 变换规则, 对基元分形矩阵进行扰动生成新图案。对图案基元进行变换、扰动不仅生成多种纹样图案, 而且由于变换中图案基元的保留, 使得生成图案传承了原图案的风格与特色。所提方法简单易行, 能快速生成大量保持民族风格的图案纹样。

关键词: 图案基元(图案基本要素); 分形基元矩阵; 相似变换; 扰动变换

A New Method for Pattern Generation

ZHAO Hai-Ying^{1,2}, HUI Wen¹, XU Guang-Mei³

¹(School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

²(College of Computer Science and Technology, Xinjiang Normal University; Urumqi 830054, China)

³(Department of Computer Science and Technology, Beijing Union University, Beijing 100101, China)

Abstract: To address how to use computer-generated patterns with the Characteristics of ethnic minorities in Xinjiang is a challenging problem. A new pattern generation method is proposed and confirmed in the practicality of the method. First, a segmentation algorithm is used to extract different texton of pattern. Then, pattern similar transformation rules are designed to generate fractal texton matrix. Re-introduction of almost-Arnold transformation rules, the fractal texton matrix perturbation are brought into generation a new pattern. A variety of patterns are generated by extracting patterns texton and introducing transformation rules in the database of Xinjiang Folk Art pattern. The proposed method is simple and able to quickly generate a large number of patterns with different national characteristics patterns.

Keywords: pattern texton (basic elements of texture); fractal texton matrix; similarity transformation; disturbance transform

1 引言

艺术图案设计是一种以平面装饰为目的的造型活动, 它包括纹样、色彩、构图三部分设计, 其中纹样设计是图案生成的基础和关键。利用计算机进行艺术

图案的设计除了使用传统艺术图案的设计原理和方法之外, 还可以引入以算法为基础的设计方法。目前对后者的研究已受到广泛的关注, 提出了大量的方法, 主要有非线性理论生成图案纹样, 如分形生成模型^[1,2]、

① 基金项目:国家自然科学基金:(60863010);973 前期计划专项课题(2010CB334709);新疆自然科学基金(2010211a19)

收稿时间:2010-07-11;收到修改稿时间:2010-09-14

元胞自动机的演化模型^[3,4]与植物约束造型^[5,6],以及基于人工神经网络的纹样生成方法^[7,8,16,17]。

这些纹样生成方法侧重于生成规则的描述,没有反映出原始纹样的特点以及图案风格的传承。民间艺术图案都具有独特的特色,如果通过变换生成算法来生成图案可以保留其特有的风格与特色,将更具有应用价值。本论文的侧重点是尝试分析新疆少数民族艺术图案的差异与相似性,抽取能表征民族风格特征的基本要素(基元);利用矩阵的相似变换与可控扰动对基元进行变换来生成图案。实验结果表明,通过图案基元这条线索,能够使民间艺术图案的风格得到保留与传承,为研究民族民间艺术图案的建模提供一种途径。

综上所述,本论文基于分割提取图案基元,进行矩阵相似变换与扰动,方便、快速生成大量与基元相似的图案纹样。

2 相关工作

现有的纺织纹样 CAD 从纹样设计到输出等各个环节都实现了自动化,但纹样设计的构思,还完全依赖于设计人员。如何利用数学理论及各类工具自动生成纺织纹样图案,为艺术设计人员提供新的创意,是研究者关注的重点。目前,前人已提出许多行之有效的方法,尤其在织物几何造型和动态模拟方面,研究成果显著。如分形生成模型在纺织花型设计中有很大的应用潜力,这种生成模型并不直接规定图形的外观,而是规定反映图形结构关系的生成规则。常用的分形模型有字符重写系统(String Rewriting System)、迭代函数系统(Iteration Function System)、复数平面分形系统(Complex Plane Fractal System)、元胞自动机(Cellular Automata)、有限扩散凝聚模型(Diffusion Limited Aggregation)等。虽然各自生成图形的方法不同,但其生成图形都具有分形的特征,通常可用迭代的方法生成,使复杂的景物可以用简单的规则来生成,而且图案的纹样是人们意想不到的,为此应用分形生成模型可极大地丰富纺织品的花色品种,缩短花型设计的周期。其中文献[11]就迭代函数系统(IFS)在织物设计中的应用进行了讨论,IFS图形的生成方法主要有确定性算法与随机性算法,通过调整 IFS 的参数就可以生成大量图案。元胞自动机的演化模

型^[3,4]是通过给出一些元胞自动机初值和演化规则,并根据图案颜色的需要生成多彩色的图案的一种生成的新方法。丹麦植物学家 A Lindenmayer 1968 年创造性地提出了一个植物形态学模型,简称为 L 系统^[12]。20 世纪 80 年代由 A R Smith 和 P Prusikieucz^[13,14]等人将 L 系统引入计算机图形学,使之自然景物模拟的有效方法。目前 L 系统已经成为生成分形图形的一类典型而重要的方法,并成功应用于纺织艺术设计方面^[15],为织物图案的设计提供新的设计思路。另外,如何应用经典的数学函数生成符合纺织花型图案设计原则的花样,其研究主要侧重是寻找合适的数学函数及相关参数、图形的消隐、着色、渲染、填充、矢量化等等。

综上所述,图案的生成方法有多种多样,但多从物理特性上或几何特征出发的,更多的是着重于视觉效果。本文对织物纹样的模拟也追求逼真的视觉效果,但更重视的是要能传承和保留民间艺术图案的设计风格与特色,通过对提取的图案基元进行变换与扰动,得到大量不同花型的同时又因基元的存在,使得风格与特色仍存。这是其它论文没有重视的。

论文提出了一种借助相似变换和 Arnold 变换生成图案纹样的方法,通过对图案基元进行相似变换,对变换后的规则纹样进行扰动,使其在保留原图案风格和特色基本不变的情况下,产生不规则的纹样效果,从而达到传承民间艺术图案风格的特点。

3 一种新的图案纹样生成方法

3.1 交互式提取图案基元

新疆民族艺术图案的组成比较复杂,包含了许多蜿蜒的曲线、规则与不规则的几何图形、对称与不对称的基本图形。图案中没有明显的所谓“纹理基元”,也没有明显的周期性和方向性,但是往往包含有丰富的不规则曲线细节,有的还具有随机变化的形状,很难用传统的曲线或曲面描述。这给图案的自动分割造成很大的困难。如果能吸纳已有图案分析的经验,将会对图像的分割产生重大帮助。因此,人机交互的分割模型^[16,17]成为最佳的选择。基于水平集方法的活动轮廓模型是由 N.paragios^[17]提出,能够较好地解决这个问题。本文利用交互式决定初始分割区域,构建人机交互分割模型。实现民间艺术图案的基元提取过程,如下图所示。

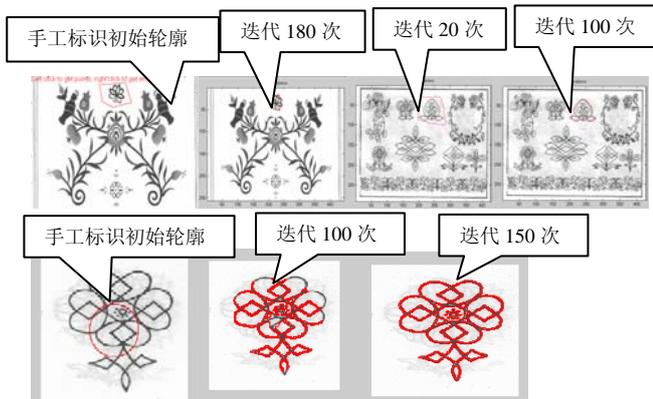


图 1 基于分割的图案基元提取

通过分割算法提取的图案基元如下图所示。



斯勒纹 忍冬纹 巴旦木纹 米哈拉甫纹丝(两边对称,中间高起,有神圣而庄重之感)

图 2 不同图案基元

3.2 相似变换与扰动的图案纹样生成方法

3.2.1 相似变换生成分形基元矩阵

一个大小为 $m \times n$ 图案基元就是一个矩阵 E , 如下表:

$$E = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

令矩阵 E 作为变换的原矩阵, 变换后的矩阵 E_1 。

$E_1 = f(E)$, 其中相似变换的规则 f 由:

1) 用矩阵 A_{ij} 置换元素 a_{ij} , $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$

2)

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} + a_{ij} & a_{1n} + a_{ij} \\ a_{m1} + a_{ij} & a_{mn} + a_{ij} \end{bmatrix}$$

E_1 是一个局部与整体相似的矩阵, 其整体结构特性与生成矩阵 E 相同。如果这种变换过程不断进行下去, 就会得到一系列自相似的矩阵 E_1, E_2, \dots , 而任何一个 E_{i+1} 都是由 E_i 的每一个元素 a_{ij} 相加 E 后所得矩阵去置换 a_{ij} 而成, 变换规则如下,

$$E_{i+1} = E_i \oplus E = [a_{ij} \oplus E] \quad (1)$$

公式(1)称为矩阵 E_i 的相似变换, 而把相似变换得

到的一系列矩阵 E_1, E_2, \dots 称为分形矩阵^[18]。通过对图案基元进行相似变换就能得到一系列分形基元矩阵。

设基元矩阵 E 如下

$$E = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 2 \end{bmatrix}, \text{ 经一次相似变换产生的基元分形矩阵如下:}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 4 & | & 1 & 2 & 5 & | & 4 & 5 & 8 \\ 1 & 0 & 2 & | & 2 & 1 & 3 & | & 5 & 4 & 6 \\ \hline 1 & 2 & 5 & | & 0 & 1 & 4 & | & 2 & 3 & 6 \\ 2 & 1 & 3 & | & 1 & 0 & 2 & | & 3 & 2 & 4 \end{bmatrix}$$

注: 相似变换中的加法也可以用乘法 \otimes 运算代替, 即用 E 的每一个元素 a_{ij} $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ 乘以矩阵 E 的每一个元素所得的矩阵, 去置换元素 a_{ij} , 其置换规则如下:

1) 用矩阵 A_{ij} 置换元素 a_{ij} , $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$

2)

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} * a_{ij} & a_{1n} * a_{ij} \\ a_{m1} * a_{ij} & a_{mn} * a_{ij} \end{bmatrix}$$

3.2.2 矩阵扰动变换

对一个分形矩阵进行扰动变换, 就是对矩阵元素的位置或 RGB 值进行变换, 图案就会变成另一幅图案, 通过实验可以发现, 在图案扰动过程中可以生成很好的纹样图案, 用这种方法在计算机中可以快速、方便地生成具有一定风格的艺术图案。

定义. 一幅图案大小为 $m \times n$, 其元素 a_{ij} $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ 的位置为 (i, j) , 则将 (i, j) 变换到同一矩阵中的另一个位置 (i', j') , 称为矩阵的扰动变换。

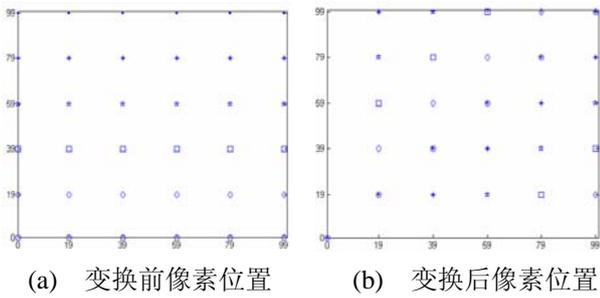
这种变换是对图案位置在进行的变换, 而不是对像素灰度的变换。原理相当于图案像素的重新排队, 队中元素值不变, 位置改变。

由于新疆民族艺术图案大多是对称的正方形, 不失一般性, 设矩阵大小为 $N \times N$, (i, j) 是方阵中的一个点, 那么将 (i, j) 变换到同一个方阵中另外一个点 (i', j') 的扰动变换可表示为:

$$\begin{bmatrix} i' \\ j' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} \pmod{N} \quad (2)$$

其中, $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$ 称为 Arnold 变换规则^[19], 变换规

则如图 3 所示。公式(2)是 Arnold 变换的推广, 故称为准 Arnold 变换规则。



(a) 变换前像素位置 (b) 变换后像素位置
图3 Arnold变换前、后部分像素位置比较

分析可知，该变换具有周期性，通过多次变换后可以恢复原图案。文献[19]已经证明了变换矩阵具有周期性的充分必要条件。

定理 1. [20] 变换(2)具有周期性的充分必要条件是 $|E|$ 与 N 互为素数。此处 E 是变换矩阵， $|E|$ 是矩阵 E 的行列式。

这种具有周期性的矩阵变换，是将原有图案上的像素位置做有规律的扰动，一幅含有基元的图案经过多次迭代后，就形成了整体视觉效果非常有规律的图案，保持了原有图案的风格与特点。

不失一般性，矩阵的扰动变换，取 $a_{11} = a_{21} = 0$ ， a_{11} 和 a_{22} 可为 Lucas 数或 Fibonacci 数，只要保证 a_{11} 和 a_{22} 的积与 N 互为素数。如对一个 $N = 256$ 的图案，可以选用如下的 3 种变换进行图案扰动，

$$\begin{bmatrix} i' \\ j' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 29 & 0 \\ 0 & 47 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} \pmod{N} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} i' \\ j' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 199 & 0 \\ 0 & 199 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} \pmod{N} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} i' \\ j' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 233 & 0 \\ 0 & 55 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} \pmod{N} \quad (5)$$

选择公式(2)到公式(5)对相似矩阵进行扰动就可以得到大量周期变换后的图案。

3.2.3 图案纹样生成算法描述

分析图案的差异与相似性，抽取表征民族风格特征的基元，利用矩阵变换生成新的图案纹样。其算法步骤如下。

- step1: 输入源图案
- step2: 设计图案分割算法
- step3: 输出图案基元
- step4: 矩阵的相似变换
- step5: 矩阵的扰动变换
- step6: 生成新的图案纹样

4 基于图案基元的纹样图案的生成案例

4.1 图案纹样生成案例

案例 1: 从艾德莱斯绸图案以及服饰提取的基元纹样



图4 织物服饰图案的基元

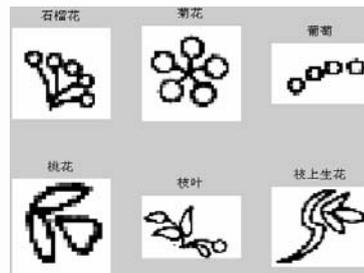


图5 植物服饰图案的基元

案例 2: 图案基元经过相似变换可以得到分形基元矩阵，如下图所示：

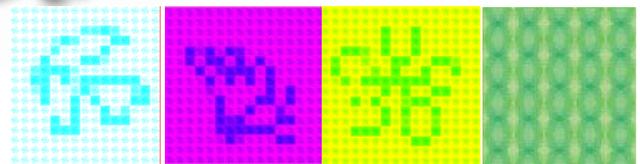


图6 相似变换后的图案纹样

案例 3: 对相似变换后的“原图案”扰动得到不同的纹样图案。由于准 Arnold 变换的特性，在迭代到不同的步骤时所产生的纹样是完全不同的，因此，同一个基元可以用来产生不同的织物纹样，如下图所示，经基元不同迭代得到织物图案。其中，图 8 就是从植物基元到相似矩阵得到“原图案”，再对“原图案”扰动变换得到一系列不同的纹样图案。

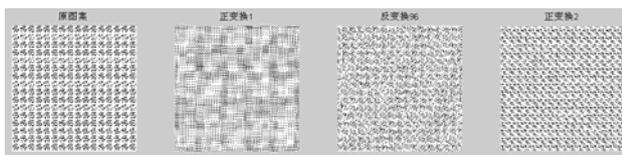


图 7 基于植物基元的相似扰动变换纹样图案

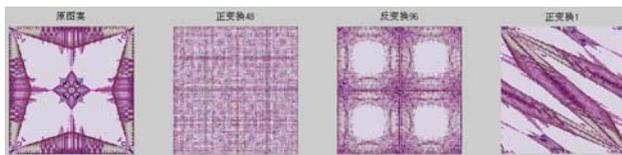


图 8 艾德莱斯绸图案的演化过程

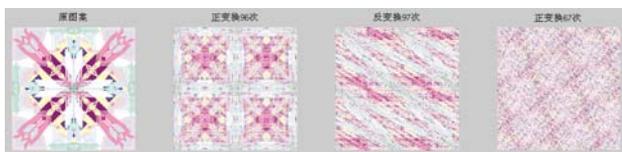


图 9 艾德莱斯绸图案的演化过程



图 10 艾德莱斯绸图案的演化过程

4.2 图案纹样结构剖析

1) 从源图案中分割所得的图案基元具有一定的民族风格与寓意,如图 5 中的基元分别代表了桃花、石榴花、菊花、葡萄、枝上生花、枝叶等。

2) 经过相似变换所得的分形基元矩阵与源图案具有很大相似性。其理论的相似证明可作为进一步研究的方向。

3) 如图 7 至图 10,用户可以从生成的图案中找到源图案的基元,传承了民族艺术图案的特色和风格。

4.3 图案纹样的适用范围及局限性

在利用准 Arnold 扰动变换生成纹理的时候,所得到的都是在视觉上纹理比较规则的织物。对于那些看上去纹理不太规则的织物,生成的效果就不能满足要求。因此,论文提出必须对基元的纹样进行扰动,使其在保证原来民间艺术图案风格基本不变的情况下,产生新的不规则的纹理效果。

如何控制生成的图案,拓宽论文所提生成方法的适用范围,研究者在下一阶段会引入元胞自动机的演化规则,规定“生存”象素会随着周围的象素的亮度变化而变亮,“死亡”象素会随着周围亮度变化而变暗的。为了在变换后不破坏整体图案,保证变换前后整体图案风格基本一致,考虑了在 YUV 空间只对象素的亮度分量的进行扰动。这样做的好处是由于亮度值的变化,只影响图像的明暗,其风格保持。

5 结论

本文提出了一种生成图案纹样的新方法,给出了大量的实例,从中可以看出方法的简单实用性。方法不仅可以控制图案纹样的生成,还可以在生成的图案纹样中方便地找到图案基元,使得民族艺术图案的风格保留传承,这是其它方法无法做到的。

综上所述,由于本方法具有交互式分割图案,图案基元小,种类繁多,变换矩阵简单,运算速度快的特点,故能通过改变图案基元来快速生成不同的图案,这对新疆纺织原料的新花型、新设计提供新的设计途径,为研究各类民间艺术图案的建模方法奠定基础。

参考文献

- 1 Pentland A. Fractal-based description of natural scenes. Proc. IEEE Conf Comput. Vision and Pattern Recognition. 1983,83, Arlington, VA.
- 2 Kawaguchi Y. A morphological study of the form of nature. Comput. Graphics, 1982.16(3):223-232.
- 3 Bajacsy R, Lieberman L. Computer description of real outdoor scenes. Proc. 2nd Int. Joint Conf Pattern Recognition, Copenhagen, Aug 1974. Denmark, 174-179.
- 4 Nealen A, Igarashi T, Sorkine O, Alexa M. Laplacian mesh optimization. Proc. of ACM GRAPHITE, 2006:381-389.
- 5 Pinkall U, Polthier K. Computing discrete minimal surfaces and their conjugates. Experimental Mathematics, 1993,2(1):15-36.

(下转第 97 页)

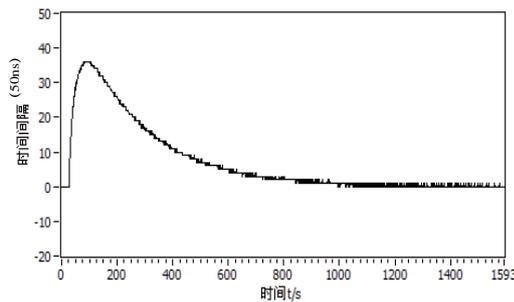


图 4 实验系统跟踪情况

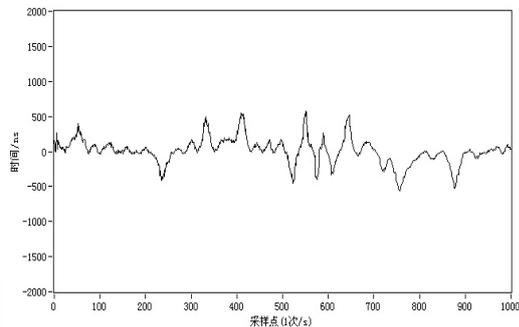


图 5 NTP 服务器与客户端时钟同步测试曲线

参考文献

- 1 于跃海,张道农,胡永辉,等.电力系统时间同步方案.电力系统自动化,2008,32(7):82—86.
- 2 章晋龙.广东电网同步网络优化与应用研究.电力系统通信,2006,27(159):18—21.
- 3 曾祥君,尹项根,林干,等.晶振信号同步 GPS 信号产生高精度时钟的方法及实现.电力系统自动化,2003,27(8):49—53.
- 4 郭向阳,赵振杰.自适应驯服铷钟的实现.飞行器测控学报,2006,25(4):83—86.
- 5 李展,张莹,周渭.基于单片机和 GPS 信号的校频系统.时间频率学报,2005,28(1):68—75.
- 6 杨国庆.网络时间同步在电力系统的应用.华东电力,2007,35(4):229—331.
- 7 毛德操,胡希明.嵌入式系统——采用开源代码和 StrongARM/Xscale 处理器.杭州:浙江大学出版社,2003.35—37.
- 8 田泽.嵌入式系统开发与应用实验教程.北京:北京航空航天大学出版社,2004.26—29.
- 9 孟宪元,钱伟庚,等.FPGA 嵌入式系统设计.北京:电子工业出版社,2007.37—40.
- 10 谢和平,薛秀谦.分形应用中的数学基础与方法.北京:科学出版社,1994:99—106.
- 11 张聿,金耀,孙家武,等.基于 L 系统的织物分形组织设计方法.纺织学报,2007,28(5):51—54.
- 12 Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: Active contour Models. International Journal of Computer Vision, 1987, 1(4):321—331.
- 13 Paragios N, Deriche R. Geodesic active contours and level sets for the detection and tracking of moving objects. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000,22(3):266—280.
- 14 Barbe AM. Artistic Design with Fractal Matrices. The Visual Computer, 1993,(9):233—238.
- 15 Arnold VI, Avez A. Ergodic problems of classical Mechanics. Mathematic physic monograph series. New York: Benjamin W.A. INC, 1968.
- 16 齐东旭,邹建成,韩效宥.一类新的置乱变换及其在图像信息隐藏中的应用.中国科学(E辑),2000,30(5):440—447.
- 6 Sorkine O. Differential representations for mesh processing. Computer Graphics Forum, 2006,25(4):789—807.
- 7 Wei LY, Evry ML. Texture synthesis over arbitrary manifold surfaces. Computer Graphics (SIGGRAPH 01 Proceedings), 2001,(8):355—360.
- 8 Blinn JF, Newell ME. Texture and reflection in computer generated images. Communications of the ACM, 1976, 19: 542—546.
- 9 薛峰,张佑生,江巨浪,胡敏.一种快速、有效的纹理合成方法.合肥工业大学学报,2005,28(11):1361—1364.
- 10 阎平凡,张长水.人工神经网络与模拟进化计算.北京:清华大学出版社,2002.17—22.
- 11 Barnsley MF, Demoko S. Iterated function systems and the global construction of fractals. Proc. Roy. Soc. Lond, 1985, A 399:243—275.
- 12 Lindenmayer A. Mathematical models for cellular interaction in development, Parts 1 and part 2. Journal of Theoretical Biology, 1968,18:280—315.
- 13 Prusinkiewicz P, Hammel M, Mjolsness E. Animation of plant development. Computer Graphics, 1993,7(3):351—360.

(上接第 89 页)