



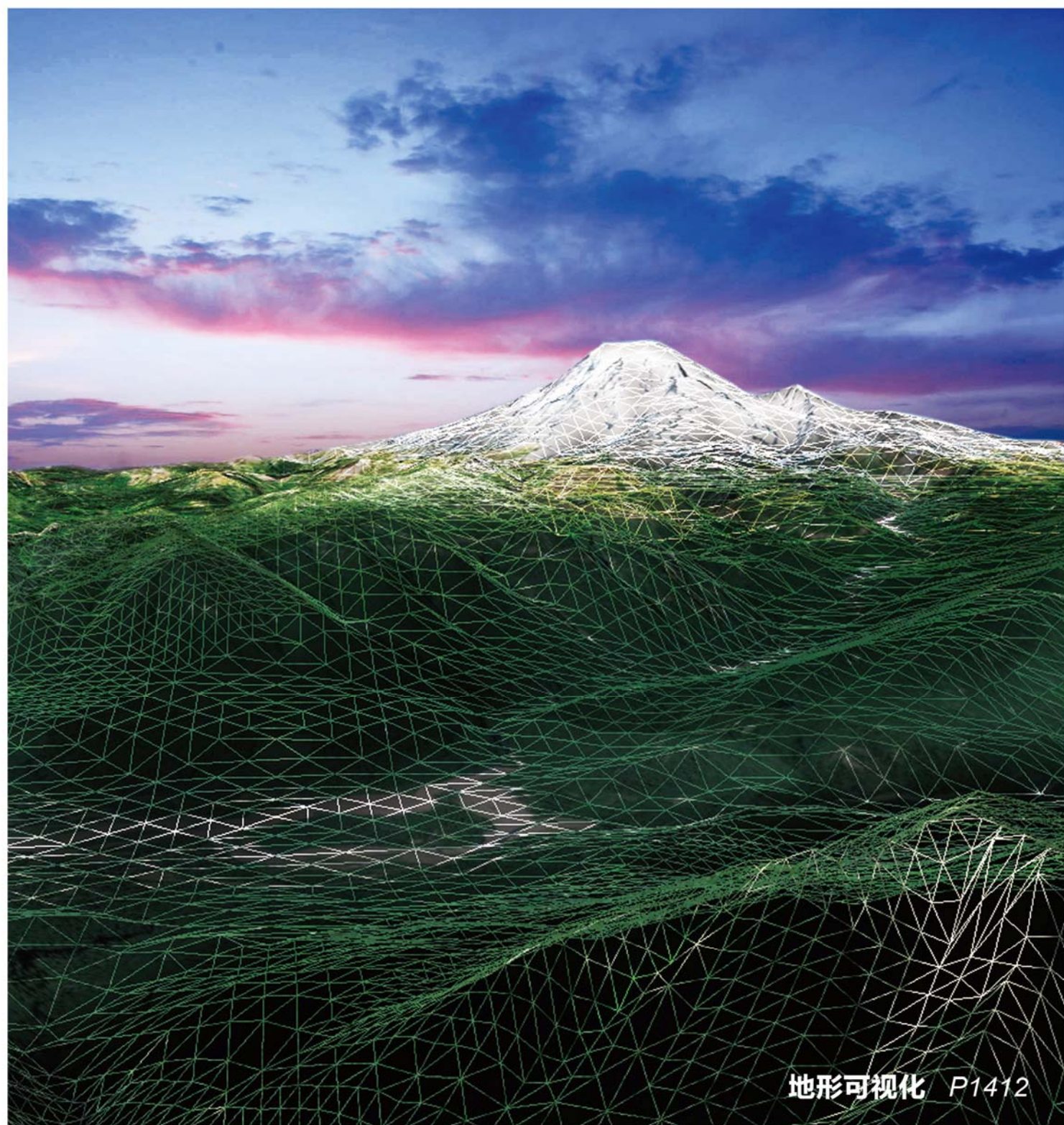
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

2015  
10  
VOL.20

ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB



地形可视化 P1412





第20卷第10期（总第234期）

2015年10月16日

中国精品科技期刊  
中国国际影响力优秀学术期刊  
中国科技核心期刊  
中文核心期刊

### 版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

### Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院  
主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文  
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会  
邮政信箱 北京9718信箱  
邮 编 100101  
电子信箱 jig@radi.ac.cn  
电 话 010-64807995  
网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号  
总 发 行 北京报刊发行局  
订 购 全国各地邮局  
海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司  
(邮政信箱: 北京399信箱 邮编: 100048)  
印刷装订 北京科信印刷有限公司

### Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS  
China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen  
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics  
P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China  
Zip code 100101  
E-mail jig@radi.ac.cn  
Telephone 010-64807995  
Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals  
Domestic All Local Post Offices in China  
Overseas China International Book Trading Corporation  
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)  
Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

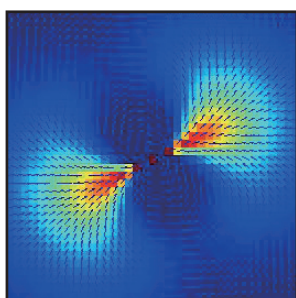
CN 11-3758/TB  
ISSN 1006-8961  
CODEN ZTTXFZ  
国外发行代号 M1406  
国内邮发代号 82-831  
国内定价 50.00元



JPEG图像双重压缩偏移量估计的篡改区域自动检测定位(第1304页)



基于表情传输的交互式照片编辑(第1366页)



结合张量投票和Snakes模型的SAR图像道路提取(第1403页)

## 图像处理和编码

基于模式特征的H.264/AVC可逆视频水印

李淑芝, 张翔, 邓小鸿, 吴晓燕 .....1285

二阶总广义变分小波修复模型

许建楼, 郝岩, 张翼 .....1297

JPEG图像双重压缩偏移量估计的篡改区域自动检测定位

赵洁, 郭继昌, 张艳, 张众维 .....1304

## 图像分析和识别

基于非对称局部梯度编码的人脸表情识别

胡敏, 程轶红, 王晓华, 任福继, 许良凤, 黄晓音 .....1313

采用积分图块间距离检测图像边缘

贾迪, 孟琢, 孙劲光, 李思慧, 赵明远 .....1322

自适应属性加权2维FCM分割算法

侯晓凡, 吴成茂 .....1331

利用层间相关性的岩心CT图像半自动分割方法

徐永进, 滕奇志, 吴晓红, 卿粲波 .....1340

## 图像理解和计算机视觉

在线特征选取的多示例学习目标跟踪

周志宇, 彭小龙, 吴迪冲, 朱泽飞 .....1346

融合外观和运动特征的在线目标分割

张雷, 李成龙, 汤进, 高思晗 .....1358

基于RGB-D深度相机的室内场景重建

梅峰, 刘京, 李淳芃, 王兆其 .....1366

## 计算机图形学

带平台伸缩函数的参数曲线变形

张莉, 余慧芳, 檀结庆 .....1374

视景建模中树木纹理图像的随机变形网格方法

施冠羽, 欧阳清 .....1384

基于表情传输的交互式照片编辑

刘锦云, 彭宏京 .....1390

## 遥感图像处理

结合张量投票和Snakes模型的SAR图像道路提取

符喜优, 张风丽, 王国军, 邵芸 .....1403

GPU Tessellation全球地形可视化方法

李尚林, 郑利平, 张迎凯, 李琳 .....1412

# CONTENTS

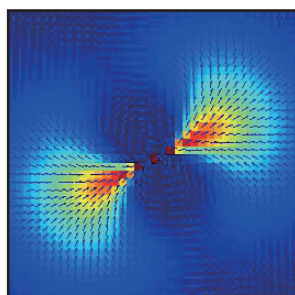
## JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Automatic detection and localization of image forgery regions based on offset estimation of double JPEG compression (P1304)



Interactive photo editing based on expression transmission (P1366)



Road extraction from SAR images using tensor voting and Snakes model(P1403)

### Image Processing and Coding

- Reversible video watermarking algorithm for H.264/AVC based on mode feature  
Li Shuzhi, Zhang Xiang, Deng Xiaohong, Wu Xiaoyan ..... 1285
- Second order total generalized variational model for wavelet inpainting  
Xu Jianlou, Hao Yan, Zhang Ji ..... 1297
- Automatic detection and localization of image forgery regions based on offset estimation of double JPEG compression  
Zhao Jie, Guo Jichang, Zhang Yan, Zhang Zhongwei ..... 1304

### Image Analysis and Recognition

- Facial expression recognition based on asymmetric region local gradient coding  
Hu Min, Cheng Yihong, Wang Xiaohua, Ren Fuji, Xu Liangfeng, Huang Xiaoyin ..... 1313
- Edge detection method of block distance combining with summed area table  
Jia Di, Meng Lu, Sun Jinguang, Li Sihui, Zhao Mingyuan ..... 1322
- Adaptive weighted two-dimensional histogram FCM segmentation algorithm  
Hou Xiaofan, Wu Chengmao ..... 1331
- Semi-segmentation of rock CT images using the correlation of adjacent frames  
Xu Yongjin, Teng Qizhi, Wu Xiaohong, Qing Linbo ..... 1340

### Image Understanding and Computer Vision

- Object tracking based on multiple instance learning with online feature selection  
Zhou Zhiyu, Peng Xiaolong, Wu Dichong, Zhu Zefei ..... 1346
- Online object segmentation via fusing appearance and motion features  
Zhang Lei, Li Chenglong, Tang Jin, Gao Sihan ..... 1358
- Improved RGB-D camera based indoor scene reconstruction  
Mei Feng, Liu Jing, Li Chunpeng, Wang Zhaoqi ..... 1366

### Computer Graphics

- Deformation of parametric curves based on platform extension function  
Zhang Li, Yu Huifang, Tan Jieqing ..... 1374
- Method of random transmogrification mesh for tree texture images in scene modeling  
Shi Guanyu, Ouyang Qing ..... 1384
- Interactive photo editing based on expression transmission  
Liu Jinyun, Peng Hongjin ..... 1390

### Remote Sensing Image Processing

- Road extraction from SAR images using tensor voting and Snakes model  
Fu Xiyu, Zhang Fengli, Wang Guojun, Shao Yun ..... 1403
- GPU Tessellation method of global terrain visualization  
Li Shanglin, Zheng Liping, Zhang Yingkai, Li Lin ..... 1412

中图法分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)10-1384-06

论文引用格式: Shi G Y, Ouyang Q. Method of random transmogrification mesh for tree texture images in scene modeling[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(10): 1384-1389. [施冠羽, 欧阳清. 视景建模中树木纹理图像的随机变形网格方法[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(10): 1384-1389. ][DOI:10.11834/jig.20151012]

## 视景建模中树木纹理图像的随机变形网格方法

施冠羽, 欧阳清

海军工程大学动力工程学院, 武汉 430033

**摘要:** **目的** 视景建模中,采用“公告板”贴图法对同树种不同个体树建模时,需生成各种形态各异的树木纹理图像,为此提出一种新的生成树木纹理图像的随机变形网格方法。**方法** 首先将树木的原始纹理图像进行网格划分,再对网格顶点进行随机变形,最后将生成的不规则网格中的图像映射到新图像中相应的规则网格上,得到变形后的纹理图像。**结果** 应用随机参数控制树木图像的变形,模拟出成长环境因素对树木形态的影响。本文方法比采集多幅个体树图像贴图方法更简便,容易实现;比用同一幅图像进行多个个体贴图的视觉效果更真实。**结论** 本文方法生成的树木纹理图像应用于“公告板”贴图时,在视景模型中能较好地模拟出同一树种的多个个体树情景。该方法基于图像的局部变形,仍然保持原始图像内容的整体基本形态和内部结构的连续性,因此,同样适用于其他不规则形状的自然景物(如山峦、河流、海浪等)的图像处理。

**关键词:** 视景建模;树木纹理图像;随机变形;树木形态

### Method of random transmogrification mesh for tree texture images in scene modeling

Shi Guanyu, Ouyang Qing

College of Power Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China

**Abstract:** **Objective** To address the problem of how to produce variform individual texture images of tree from the same tree species through the method of “bulletin board” mapping in scene modeling, a method to generate tree texture images through the use of a random transmogrification mesh is proposed. **Method** The original mesh is utilized to divide tree texture images. Then, random transmogrification of the mesh vertexes is conducted. Lastly, the generated irregular mesh images are mapped on a corresponding regular mesh in the new images; texture images are obtained after transmogrification. The effects of mesh division quantity, transformative coefficient of the mesh, and quantity of mapping nodes on the transformative results are simulated. **Result** By selecting the mesh division number, transformative coefficient of the mesh, and quantity of mapping nodes appropriately, the original texture images of trees after transmogrification can be converted into multiple ones that have similar basic forms but different details. Experimental results indicate clearly that the problem of texture image generation of different individual tree from the same species can be solved by the proposed method. The proposed method involves a stochastic parameter to control the local transmogrification extent of tree images; the environmental impact on the individual form exerted by various random factors in their growing environment is reflected. The method is much easier and more convenient than individual tree image mapping. Additionally, the visual effects produced by this method are

收稿日期:2015-04-02;修回日期:2015-06-02

**第一作者简介:**施冠羽(1985—),女,讲师,2009年于南京理工大学获供热、供燃气、通风及空调工程专业硕士学位,主要研究方向为计算机图形学,虚拟现实。E-mail: shi\_guanyu1427@163.com



more real than those produced by mapping multiple individuals in the same image. **Conclusion** A new method to generate tree texture images through the use of a random transmogrification mesh is proposed. The transmogrification extent of tree images is controlled by a stochastic parameter; the effects on the individual forms exerted by various random factors in their own growing environment are simulated. Images of individuals with various shapes in the same species can be obtained by selecting the appropriate transformative parameters. Experimental results show that when the tree texture image produced by the proposed method is applied in “bulletin board” mapping, the scene of multiple individuals of the same species can be simulated well in scene modeling. Local transmogrification of the image shows that the continuity of the original image content remains, including the overall basic shape and internal structure. Therefore, this method is also applicable to image processing of several other out-of-shape natural scenes (e. g., mountains, rivers, ocean waves).

**Key words:** scene modeling; tree texture image; random transmogrification; tree form

## 0 引言

自然景物中,树木具有种类繁多,形态各异,结构复杂的特点。即使是同一树种、相同树龄、生长在同一环境下的树,由于生长过程中受到多种因素的影响,它们的形态也各不相同。自然景物中不可能有完全相同的树。视景建模中,经常需要对行道树、人工林等进行模拟,因而会面临同一树种、各种不同个体树的建模和可视化模拟的问题。

3D 树木建模的主要方法可划分为3类<sup>[1]</sup>:基于规则、基于草图和基于图像的建模方法。根据植物学知识和树木模型的拓扑结构,文献[2]中提出了一种保持视觉感知的3维树木叶片模型分治简化方法,基于树叶简化方法生成一系列树木几何模型,进行森林场景的快速绘制和漫游。文献[3]提出了一种基于Lobe表示的树木3维建模方法,基于树冠的外形轮廓和内部枝叶结构的相似性,通过纹理合成的方法近似生成,建立树木3维模型。

图形纹理映射技术是计算机图形学中用于构建真实图形环境最常用的方法,它把一个物体的影像映射在物体的几何模型表面,从而构成直观形象的图形对象。文献[4]在经典广告牌3维树模型绘制基础上,应用一种切片方案模拟树的体特征,实现视觉效果更为真实的3维树模拟。应用公告板技术将一幅树的图像纹理贴到一个矩形图元上,并使图元始终朝向观察者,从而在场景中产生树的视觉效果。绘制树木这类形状不规则的物体时,可以用一个面贴上一棵树的图像,或者在两个互相垂直的面上贴上纹理,以形成多视角的树木效果<sup>[5]</sup>。

为提高视景模型的逼真感,避免在同一场景中出现树木形态完全一致的情况,就需要生成形态各

异的树木纹理图像,然后通过纹理映射的方法,绘制成树木纹理。

## 1 树木纹理图像的随机变形方法

本文的目的是通过对树木纹理图像进行不同的变形,从而得到一组大体类似又各有差异的树木纹理图像,以模拟同一树种的各种个体,用于视景建模中环境树的贴图,从而达到更逼真的视觉效果。

树木的形态结构包括描述主干、分枝、叶、花、果实等基本元素及其生长位置、长度、粗细、纹理等几何特征的组成结构,以及描述基本元素的分布、密度、空间关系和从属关系的拓扑结构<sup>[6]</sup>。树木的组成结构和拓扑结构是反映不同树种视觉区别的基本因素。在基于图像的树木3D建模方法中,通过对图像进行可见2D骨架提取、遮挡分枝结构恢复、3D骨架构建等过程实现树木形态结构的重建<sup>[1]</sup>。该处理过程复杂,只通过一棵个体树的图像得到反映该树种特征的形态结构并不容易。

在一些视景模型中,如舰船训练模拟器中的码头场景模型,树木通常是作为自然景物的背景。为场景表现提供真实视觉效果,并不需要采用耗费计算资源较多的3D树木模型,而常采用更为简便的“公告板”贴图法。该方法将树木的图像在一个2维平面上进行透明贴图,通过在3维场景中显示出图像的树木部分,从而达到模拟树木的效果。然而当场景中有多棵同样的树,如并排的行道树,若采用同一张图像进行贴图,所有树形都完全相同,会破坏场景的真实感。这时,就需要用同一树种不同形态的个体树的图像来进行贴图,以避免树形完全相同而产生的不真实感。树木个体图像反映了该树种的基本形态特征,若保留其基本形态特征不变的同时,对个体图像进行

一定的变形处理,就能得到各种不同的个体图像。

树木的纹理图像通常以树木的照片为基础处理后得到,以像素的颜色作为参数来表示,因而其图像本身没有“树”的特性,也不存在“树干”、“树枝”和“树叶”等形态结构属性。同一树种具有相同的基本形态结构,通过一幅个体树的图像构建相同树种的各种个体树图像时,为得到基本形态相同而局部细节各异的不同个体树的图像,需要对原始图像的不同局部进行不同的变形处理。处理的过程是:首先将图像用网格划分为不同的局部,然后对每个局部的图像进行变形处理。网格局部图像应产生一定范围内的随机变形(大小和位置的变化等)。为了保持“树”的基本形态特性,如树干、树枝的连续性及树叶等基本元素的完整性等,相邻网格图像变形时,在交界处必须保持变形的一致性,包括变形大小比例的一致或相近、位置变化方向的一致等。

如图1所示的变形网格,原图像中两个相邻网格 $ABCD$ 和 $CDEF$ 通过对各顶点位置的随机变形,变换为网格 $A_1B_1C_1D_1$ 和 $C_1D_1E_1F_1$ 。两个相邻网格在其共同边(图1中的 $CD$ 边)上的变形是一致的,而由共同边到对边(图1中的 $AB$ 和 $EF$ 边)的变形是均匀的。由此,将树的纹理图像划分成若干网格,对网格顶点进行位置坐标的随机变化,得到变形后的网格,这样就能保证变形后整棵树的形态变化的一致性,以保留其基本的形态特征。

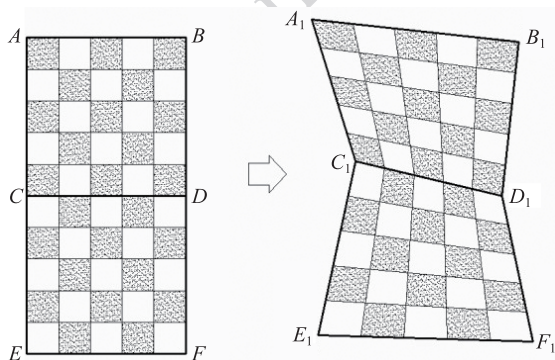


图1 变形网格

Fig. 1 Transmogrification mesh

### 1.1 网格划分

对一个纹理图像在 $X$ 、 $Y$ 方向上进行网格划分,网格为四边形,如可划分为 $6 \times 6$ 、 $8 \times 8$ 、 $10 \times 10$ 的网格数,如图2所示。随机变形网格方法以网格为单位来变形,故网格的大小影响变形的效果。

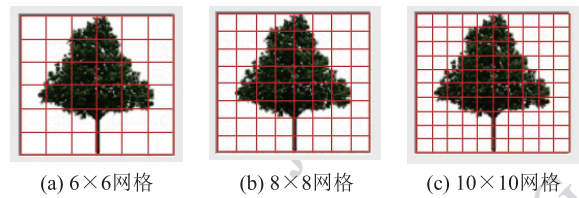


图2 纹理图像的网格划分

Fig. 2 Mesh dividing about tree texture images

### 1.2 网格随机变形

现以任一网格为例说明网格各顶点的随机变形情况。如图3所示,四边形 $A_1A_2A_3A_4$ 为原网格,四边形 $B_1B_2B_3B_4$ 为变形后的随机网格。其中, $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 、 $B_4$ 点分别为 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ 点变形后的点。变化后各顶点的坐标与变形前相应顶点的坐标关系为

$$B_{xi} = A_{xi} + \Delta x \cdot Rnd \cdot b_x \quad (1)$$

$$B_{yi} = A_{yi} + \Delta y \cdot Rnd \cdot b_y \quad (2)$$

式中, $A_{xi}$ 、 $A_{yi}$ 为原网格第 $i$ 个顶点的 $x$ 、 $y$ 坐标值, $B_{xi}$ 、 $B_{yi}$ 为变形后网格第 $i$ 个顶点的 $x$ 、 $y$ 坐标值, $\Delta x$ 为单个网格在 $X$ 方向上的长度, $\Delta y$ 为单个网格在 $Y$ 方向上的长度, $Rnd$ 为随机变量,取 $-0.5 \sim +0.5$ 。 $Rnd$ 的范围使得相邻顶点变形后相对位置保持不变, $b_x$ 为控制 $X$ 方向网格变形大小的系数, $b_x \leq 1$ , $b_y$ 为控制 $Y$ 方向网格变形大小的系数, $b_y \leq 1$ 。

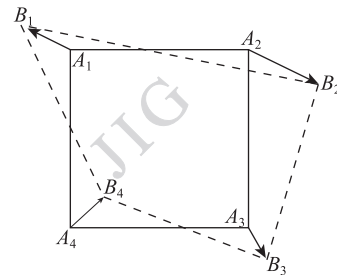


图3 网格的随机变形

Fig. 3 Random transmogrification of the mesh

### 1.3 网格映射

纹理图像变形时,先对原图像进行网格划分,然后对网格顶点进行随机变形,这样原图像便被随机变形后的不规则网格划分,如图4所示。依次将这些不规则的网格映射到新图像中相应的规则网格中,即得到变形后的新纹理图像。

网格映射就是将原图像上变形后的随机网格中的像素均匀地对应到新图像的相应的规则网格中。网格映射时,先将原网格和新图像相应网格分别均匀划分为数量相同的映射结点。如图5所示,四边

形 $B_1B_2B_3B_4$ 为变形后的随机网格,首先对网格的边 $B_1B_2$ 、 $B_4B_3$ 、 $B_1B_4$ 、 $B_2B_3$ 分别作 $t-1$ 等分,在每条边上分别产生出第0个到第 $t-1$ 个结点,从而将四边形 $B_1B_2B_3B_4$ 划分成 $t \times t$ 个映射结点。同样将新图像的对应网格也划分成 $t \times t$ 个映射结点。然后将原图像网格中的映射结点的像素值依次对应到新图像中的对应结点上。



图4 纹理图像的不规则网格划分

Fig. 4 Irregular mesh dividing about tree texture images

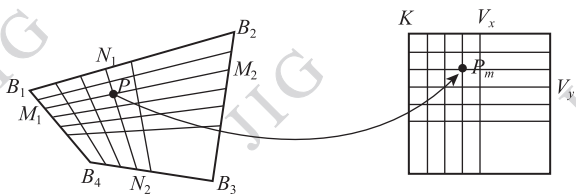


图5 网格映射关系

Fig. 5 Relationship of mesh mapping

现讨论如何将原图像中的结点 $P$ 映射到新图像中的结点 $P_m$ 上。设 $P$ 点位于 $B_1B_2$ 方向上的第 $t_{ax}$ 条结点线、 $B_1B_4$ 方向上的第 $t_{ay}$ 条结点线的交点上,也就是图5中的网格线 $M_1M_2$ 和 $N_1N_2$ 的交点,其坐标关系为

$$M_{1x} = B_{1x} + \frac{B_{4x} - B_{1x}}{t} \cdot t_{ay} \quad (3)$$

$$M_{1y} = B_{1y} + \frac{B_{4y} - B_{1y}}{t} \cdot t_{ay} \quad (4)$$

$$M_{2x} = B_{2x} + \frac{B_{3x} - B_{2x}}{t} \cdot t_{ay} \quad (5)$$

$$M_{2y} = B_{2y} + \frac{B_{4y} - B_{2y}}{t} \cdot t_{ay} \quad (6)$$

式中, $M_{ix}$ 、 $M_{iy}$ 分别为 $M_1$ 、 $M_2$ 点的 $x$ 坐标和 $y$ 坐标, $B_{ix}$ 、 $B_{iy}$ 分别为 $B_i$  ( $i=1, \dots, 4$ )点的 $x$ 坐标和 $y$ 坐标, $t$ 为原图像中变形网格各边的结点数量, $t_{ay}$ 为网格线 $M_1M_2$ 在 $B_1B_4$ 边方向的序号( $t_{ay}=0, \dots, t$ )。

则 $P$ 点的 $x$ 、 $y$ 坐标值为

$$P_x = M_{1x} + \frac{M_{2x} - M_{1x}}{t} \cdot t_{ax} \quad (7)$$

$$P_y = M_{1y} + \frac{M_{2y} - M_{1y}}{t} \cdot t_{ax} \quad (8)$$

式中, $t_{ax}$ 为网格线 $N_1N_2$ 在 $B_1B_2$ 边方向的序号( $t_{ax}=0, \dots, t$ )。

在新图像网格中取与 $P$ 点相同的位置(即第 $t_{ax} \times t_{ay}$ 结点处)作为 $P$ 点的映像 $P_m$ ,其坐标为

$$P_{mx} = K_x + \frac{V_x}{t} \cdot t_{ax} \quad (9)$$

$$P_{my} = K_y + \frac{V_y}{t} \cdot t_{ay} \quad (10)$$

式中, $K$ 点为该网格的左上角, $K_x$ 、 $K_y$ 分别为 $K$ 点的 $x$ 、 $y$ 坐标值, $V_x$ 和 $V_y$ 分别为该网格的 $X$ 、 $Y$ 方向的边长。

将原图像中点 $P(P_x, P_y)$ 的颜色值赋于新图像中点 $P_m(P_{mx}, P_{my})$ ,即可得到变换后的点。这样,依次将原图像中各网格映射到新图像的对应网格中,完成纹理图像的变形处理。

## 2 随机变形参数讨论

### 2.1 网格数

随机变形网格方法以网格为单位进行变形处理。对于同一幅图像,划分的网格数目越多,则产生不同的随机变形的局部区域越多,图像细节变形越多,使变形后的图像产生更多的细节差异,能得到更丰富的差异化个体树图像。但网格数量增加必然占用更多的计算时间。另一方面,网格数越大,则网格尺寸越小,网格变形量越小,导致树木图像的总变形量越小,使得变形后的个体树图像的树木外形的总体差异越小。树木外形总体差异过大,会削弱各种个体树属于同一树种的视觉感;而树木外形总体差异过小,又会降低不同个体树的区别度,破坏场景的真实感。

图6所示为不同的网格数对纹理图像随机变形的影响结果。如图6(a)所示,网格划分为 $6 \times 6$ 时,单个网格较图6(b)(c)所示的网格大。图像局部变形的区域越大,树木外形的总变形越大。图6所示3种网格划分中,图6(a)所示变形后的图像中树冠的顶部以及树干变形就比较大。

### 2.2 变形系数

随机变形网格方法中,用网格 $X$ 、 $Y$ 两个方向上



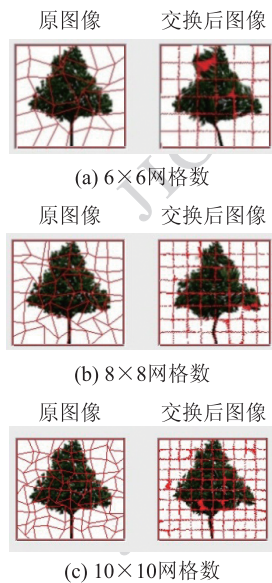


图6 网格数对纹理图像随机变形的影响

$$(b_x = b_y = 1)$$

Fig. 6 Influence on the mesh number of texture images' random transmutation ( $b_x = b_y = 1$ )

的变形系数( $b_x, b_y$ )与随机数  $Rnd$  的乘积来控制网格顶点变形量与网格边长的相对大小,  $Rnd$  取值范围定义为  $-0.5 \sim +0.5$ , 故取  $0 < b_x \leq 1, 0 < b_y \leq 1$ , 即将顶点的位置偏移控制在其周边半个网格边长范围内, 以保持顶点原来的相对位置。  $b_x, b_y$  的值越大, 则网格顶点位置的偏移量越大, 网格变形量越大, 纹理图像的变形也越大。

图7所示为网格划分为  $6 \times 6$ ,  $t$  值取 50 时, 不同的变形系数对纹理图像随机变形的影响结果。图7(a)~(f)基本反映了随着变形系数的增加, 图像变形增大的结果。但因为网格顶点的变形是随机的, 这种随机性也会影响到变形结果, 如图7(c)的变形系数比图7(d)要小, 但有些局部的图像变形比

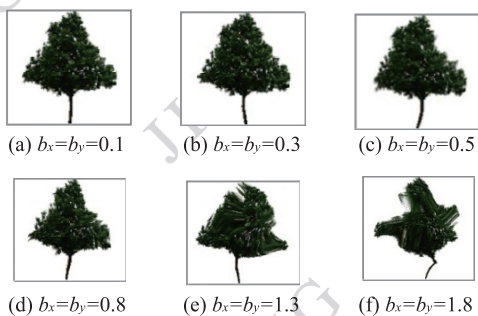


图7 变形系数对纹理图像随机变形的影响

Fig. 7 Influence on the transmutation coefficient of texture images' random transmutation

图7(d)还大。当变形系数大于1时, 如图7(e)(f)所示, 图像的变形就会变得不可控制, 变形结果会失去树木的基本形态。

### 2.3 网格映射结点数

网格映射时, 顶点随机变形后的不规则网格被划分为  $t \times t$  个映射结点, 各结点再映射到新图像对应网格中的各个结点上。结点划分数  $t$  就是映射时取像素点的精度。图8所示为取  $6 \times 6$  网格、 $b_x = b_y = 1$  时, 不同  $t$  值的变形结果。  $t$  值大小虽然不会影响图像的变形, 但由于程序每次运行的结果是随机的, 即使网格数和变形系数相同, 变形结果也是不同的。如果  $t$  值太小, 映射时有效像素点太少, 得到的图像会出现空白点, 如图8(a)所示; 而  $t$  值达到一定值后, 得到的图像从视觉上已经看不到差异, 如图8(b)~(e)所示。  $t$  值变大会使计算量大大增加, 因此实际应用时, 取满足视觉效果的最小  $t$  值即可。

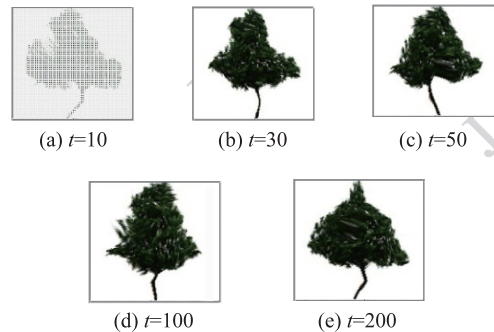


图8 网格映射结点数对纹理图像随机变形的影响

Fig. 8 Influence on the mesh mapping nodes of texture images' random transmutation

## 3 树木纹理图像随机变形算例

图9所示为双枝树的变形算例, 模拟  $6 \times 6$  网

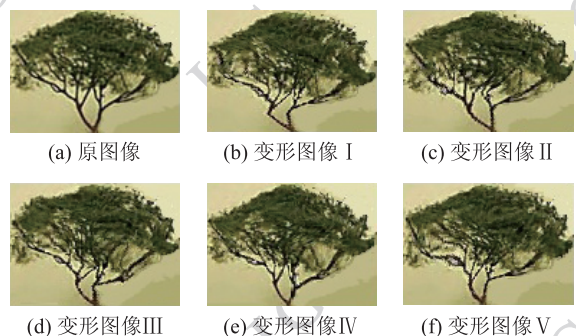


图9 样例树图的变形结果

Fig. 9 Transformative results of sample tree texture images

格、 $b_x = b_y = 0.7$ 、 $t = 50$  时的变形结果。算例表明, 对于树枝多样的图例, 此方法也能较好地保持树枝的基本形态, 同时局部变化模拟出形态各异的个体树图。

图 10 所示为应用随机变形网格法得到一棵树的系列纹理图像后, 进行视景贴图的效果算例。该

算例以图 6 中的树图为原图, 应用随机变形网格方法得到多个不同形态的变形图, 作为纹理图像在视景模型中通过“公告板”技术完成贴图; 以形态局部变化的纹理图像模拟出同树种的各种不同个体, 得到了更为逼真的效果。



图 10 视景贴图效果算例

Fig. 10 Example of visual texture images' effect

## 4 结 论

应用随机变形网格方法构造出表现树木个体差异的纹理图像, 建立该树种的纹理图像库; 在视景模型中应用“公告板”技术进行各种个体树的贴图; 在保持树种形态特征的同时, 得到基本形态类似, 而局部形状各不相同的贴图效果, 实现对自然景物的逼真模拟。随机变形网格方法中采用原图像的网格划分数量、随机变形系数和网格映射结点数量等参数对变形效果进行控制, 可根据贴图质量要求和计算量要求, 选取适当参数值, 对随机变形结果进行有效控制。随机变形网格方法基于图像的局部变形, 仍然保持原始图像内容的整体基本形态和内部结构的连续性, 因此, 同样适用于其他不规则形状的自然景物(如山峦、河流、海浪等)的图像处理。

## 参考文献 (References)

[1] Tan Y L, Jia J Y, Zhang C, et al. Survey on virtual 3D tree modeling technologies [J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(11): 1520-1528. [谭云兰, 贾金原, 张晨, 等. 3D 树木建模技术研究进展[J]. 中国图象图形学报, 2013,

18(11): 1520-1528. ] [DOI: 10. 11834/jig. 20131117]

- [2] Dong T Y, Fan Y Y, Fan J. Divide and conquer method of leaves simplification for preserving visual perception [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2013, 15(5): 686-696. [董天阳, 范允易, 范菁. 保持视觉感知的 3 维树木叶片模型分治简化方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 15(5): 686-696. ]
- [3] Cheng Z L, Yan F L, Chen B Q. Texture-Lobes for tree modeling [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2012, 24(1): 2-4. [程章林, 燕飞龙, 陈宝权. 基于 Lobe 表示的树木快速 3D 建模[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(1): 2-4. ]
- [4] Ma Z G, Wang X Q, Ma J J, et al. A 3D tree rendering method based on slices [J]. Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping, 2007, 24(3): 203-206. [马智刚, 王向前, 马静谨, 等. 基于切片的 3 维树木绘制算法[J]. 测绘科学技术学报, 2007, 24(3): 203-206. ]
- [5] Sun X B, Zhang X S. Research on realistic tree rendering technology [J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(8): 2023-2025. [孙学波, 张小苏. 真实感树木绘制技术研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(8): 2023-2025. ]
- [6] Shi S, Chen C C, Wang Q M, et al. Research on tree parameterized modeling under constraint of morphological characters [J]. Computer Engineering, 2008, 34(24): 250-252. [石松, 陈崇成, 王钦敏, 等. 形态结构特征约束下的树木参数化建模研究[J]. 计算机工程, 2008, 34(24): 250-252. ]