

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2013  
Vol.18 No.

1

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2013年1月 第18卷 第1期(总第201期)

## 目次

### 综述

- 正面人脸图像合成方法综述 ..... 赵林, 高新波, 田春娜(1)  
SAR 图像道路网提取方法综述 ..... 程江华, 高贵, 库锡树, 孙即祥(11)

### 图像处理和编码

- 头部缺失的 JPEG 文件碎片恢复 ..... 徐明, 黄立, 张海平, 徐建, 郑宁(24)  
安全高效的可撤销指纹模板构造 ..... 喻建平, 张鹏, 王瑶, 杨懿竣(36)  
基于残差的图像超分辨率重建 ..... 陈华华, 姜宝林, 刘超, 陈伟强, 陆宇, 张嵩(42)  
旋转的 Wang Tiles 纹理合成算法 ..... 王继东, 庞明勇, 赵瑞斌(49)  
基于圆形约束快速水平集的原生质体细胞分割 ..... 王晓飞, 庞全(55)

### 图像分析和识别

- 采用压缩传感的鲁棒的视频指纹方案 ..... 孙锐, 李超, 蒋飞云(62)  
基于图像显著性的路面裂缝检测 ..... 徐威, 唐振民, 吕建勇(69)  
基于局部熵的主动轮廓模型 ..... 潘改, 高立群, 赵爽(78)  
基于算子的图像分解 ..... 李峰, 曾晓辉, 陈盛霞, 沈玉娟(86)

### 图像理解和计算机视觉

- 中值流辅助在线多示例目标跟踪 ..... 王德建, 张荣, 尹东, 张智瑞(93)  
四叉树直方图的特殊方向关系表达 ..... 张珂, 王小捷, 靳越(101)

### 计算机图形学

- 协同进化的近似规则纹理合成 ..... 王相海, 陶兢喆(107)  
反走样直线的灰度循环生成算法 ..... 牛连强, 张胜男, 钟玲(115)

### 地理信息技术

- 微博客蕴含交通信息的提取 ..... 张恒才, 陆锋, 陈洁(123)

- 
- “计算机视觉前沿论坛”专栏征文通知 ..... (130)

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 18 No. 1 January 2013

## Contents

### Review

- Review of frontal face image synthesis methods ..... Zhao Lin, Gao Xinbo, Tian Chunna(1)  
Review of road network extraction from SAR images ..... Cheng Jianguhua, Gao Gui, Ku Xishu, Sun Jixiang(11)

### Image Processing and Coding

- Rrecovery method for JPEG file fragments with missing headers  
..... Xu Ming, Huang Li, Zhang Haiping, Xu Jiang, Zheng Ning(24)  
Secure and efficient scheme to construct a cancelable fingerprint template  
..... Yu Jianping, Zhang Peng, Wang Yao, Yang Yijun(36)  
Image super-resolution reconstruction based on residual error  
..... Chen Huahua, Jiang Baolin, Liu Chao, Chen Weiqiang, Lu Yu, Zhang Song(42)  
Texture synthesis using rotational Wang Tiles ..... Wang Jidong, Pang Mingyong, Zhao Ruibin(49)  
Protoplasm somatic cells segmentation based on circle dependent fast level-set segmentation ..... Wang Xiaofei, Pang Quan(55)

### Image Analysis and Recognition

- Robust video fingerprinting via compressed sensing ..... Sun rui, Li Chao, Jiang Feiyun(62)  
Pavement crack detection based on image saliency ..... Xu Wei, Tang Zhenmin, Lv Jianyong(69)  
Active contour model driven by local entropy energy ..... Pan Gai, Gao Liqun, Zhao Shuang(78)  
Operator-based image decomposition ..... Li Feng, Zeng Xiaohui, Chen Shengxia, Shen Yujuan(86)

### Image Understanding and Computer Vision

- Median flow aided online multi-instance learning visual tracking ..... Wang Dejian, Zhang Rong, Yin Dong, Zhang Zhirui(93)  
Expression of special directional relation based on quadtree histogram ..... Zhang Ke, Wang Xiaojie, Jin Yue(101)

### Computer Graphics

- Fast near-regular texture synthesis based on the concept of co-evolution ..... Wang Xianghai, Tao Jingzhe(107)  
Integral algorithm for generating anti-aliased straight line controlled by gray iteration  
..... Niu Lianqiang, Zhang Shengnan, Zhong Ling(115)

### Geoinformatics

- Extracting traffic information from massive micro-blog messages ..... Zhang Hengcai, Lu Feng, Chen Jie(123)

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)01-0049-06

论文引用格式: 王继东, 庞明勇, 赵瑞斌. 旋转的 Wang Tiles 纹理合成算法[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(1): 49-54.

## 旋转的 Wang Tiles 纹理合成算法

王继东<sup>1</sup>, 庞明勇<sup>2,3</sup>, 赵瑞斌<sup>1</sup>

1. 滁州学院计算机与信息工程学院, 滁州 239000; 2. 南京师范大学教育技术系, 南京 210046;
3. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210046

**摘要:** 针对 Wang Tiles 存在的样图利用不完全、切割路径非最优、中心和拐角区域不匹配等问题, 提出一种旋转的 Wang Tiles 纹理合成算法。使用 4 个正方形的子图块构造一个旋转的 Wang Tile 初始框架, 把纹理重叠区域分为两种类型并引入基于边结构的最短路径求解方法快速确定切割路径, 生成旋转的 Wang Tiles 集合后, 采用随机的正菱形填充方法合成纹理。实验结果表明, 对于多种类型的样图纹理, 该算法都能够实时地获得质量较高的合成纹理。

**关键词:** 纹理合成; Wang Tiles; 切割路径; tiles 旋转

## Texture synthesis using rotational Wang Tiles

Wang Jidong<sup>1</sup>, Pang Mingyong<sup>2,3</sup>, Zhao Ruibin<sup>1</sup>

1. College of Computer and Information Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China;
2. Department of Educational Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China;
3. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

**Abstract:** In this paper, we propose an effective algorithm for texture synthesis using rotational Wang Tiles, which can solve several problems of Wang Tiles, especially the incomplete sampling, the non-optimal cutting path, and the error of the center and corner areas. The initial framework of a rotational Wang Tile is constructed using four square sub-images. The overlapping region of the texture is divided into two types and the shortest path algorithm based on edge data structure finds the cutting paths. The large texture is created by stochastically filling rotational Wang Tiles. The experimental results show that the algorithm for a variety of textures can be obtained high quality synthesis results in real-time.

**Key words:** texture synthesis; Wang Tiles; cutting path; tiles rotation

## 0 引言

近年来, 基于样图的纹理合成在图像修复、纹理传输、3 维空间真实感绘制等方面有着广泛的应用, 是计算机视觉、图像图形处理等领域的研究热点之

一, 该问题可描述为: 给定一组数量有限的纹理样图, 根据其纹理特征拼接出面积较大且结构连续的纹理图像, 同时保证拼接图像与样图在视觉上具有相似性<sup>[1]</sup>。国内外学者主要采用马尔可夫随机场模型的思想进行纹理合成, 具体方法分为两种: 基于点的纹理合成<sup>[2-5]</sup>和基于块的纹理合成<sup>[6-12]</sup>。

收稿日期: 2012-04-20; 修回日期: 2012-07-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(60873175); 安徽省教育厅自然科学基金项目(KJ2011Z278); 滁州学院自然科学基金项目(2010KJ015B)

第一作者简介: 王继东(1979—), 男, 讲师, 2009 年于南京师范大学获教育技术专业硕士学位, 主要研究方向为图像处理、3 维建模与可视化。E-mail: wjd@chzu.edu.cn

基于点的纹理合成每次合成纹理图像中的一个点,纹理合成算法在样图中搜索与待合成点邻域最具相似性的区域,并将该区域中的点复制到合成纹理中。Efros 等人<sup>[2]</sup>在 1999 年率先提出一种基于点的无参数采样纹理合成算法,该方法通过输入样图的“相似领域”确定待合成的像素值,虽经文献[3-5]对该算法进行改进,但总体来说,基于点的纹理合成方法运算时间较长,易产生误差的传递和积累。基于块的纹理合成每次合成纹理图像中的一个图像块,并使用某种方式把各个图像块无缝地拼接在一起。Efros 等人<sup>[6]</sup>在 2001 年提出一种称为“Image Quilting”的算法,该算法通过计算纹理重叠区域的累积误差和最小误差路径进行纹理拼接,计算较简单,但不能很好地保证结构纹理特征的全局性。Kwatra 等人<sup>[7]</sup>于 2003 年提出了基于“Graph Cut”的纹理合成算法,该算法与 Image Quilting 算法的基本思路相似,合成的纹理效果比较好,但其计算过程较为复杂。Cohen 等人<sup>[8]</sup>提出了基于“Wang Tiles”的纹理合成算法,该算法首先产生 Wang Tiles 集合,再按一定的规则重复拼接集合中的 tiles,能够实时地生成较大面积的连续纹理。Ng 等人<sup>[9]</sup>随后提出了  $\omega$ -Tile 算法,该算法使用 Graph Cut 方法查找最佳切割路径,避免了 Wang Tiles 内部的菱形接缝。Xue 等人<sup>[10]</sup>提出了 s-Tile 算法,该算法运用了多种技巧,纹理合成质量较好,但对 s-Tile 的尺寸和数目的要求较为苛刻。文献[11-12]分别提出了与  $\omega$ -Tile 类似的算法,但生成的结构性纹理质量一般。

在分析了基于 Wang Tiles 的纹理合成算法不足的基础上,提出一种新的纹理合成算法——旋转的 Wang Tiles 算法(简称为 RW-Tiles 算法)。该算法首先从样图中获取正方形子图块,并把纹理重叠区域分为两种类型,再使用基于边结构的切割路径计算方法构造 RW-Tiles,最后采用随机的正菱形填充方式合成纹理。实验结果表明,本文算法生成的合成纹理质量较高。

## 1 Wang Tiles 纹理合成算法

Wang Tiles 最早由 Wang<sup>[13]</sup>提出,是一个由若干个大小相等的正方形块组成的集合,每个块的四条边都标有颜色,任意两个邻边颜色相同的块可以无缝拼接。Cohen 等人<sup>[8]</sup>采用 Wang Tiles 的

基本思想,提出了基于 Wang Tiles 的纹理合成算法。如图 1 所示,该算法首先从样图中随机地复制 4 个菱形的子图块(每个子图块都用不同的颜色代表),然后使 4 个子图块两两重叠拼成一个较大的菱形,对重叠的部分使用 Image Quilting 算法进行缝合,最后沿 4 个子图块的对角线裁剪得到的小正方形块即为 Wang Tile。改变子图块的排列顺序并重复上面的操作可以生成 Wang Tiles 集合,然后按照邻边颜色相同的规则,随机并重复地拼接 Wang Tiles,就能够得到面积较大并具有连续性的纹理。

基于 Wang Tiles 的纹理合成算法原理简单,易于实现,但也存在以下几个方面不足:

1) 样图信息不能完全被利用。如图 1(a)所示,由于子图块的形状为正菱形,所以样图 4 个角的区域不能被采样,最终的合成纹理将丢失样图角部区域的部分信息。

2) 切割路径不是最优化。Image Quilting 算法通过像素 RGB 的空间欧氏距离衡量纹理重叠区域的匹配程度,计算切割路径的方法如图 2(a)(b)所示:设纹理块  $B_1$  和  $B_2$  沿着垂直方向重叠, $B_1^{ov}$  和  $B_2^{ov}$  分别为  $B_1$  和  $B_2$  各自的重叠区域,误差表面定义为  $e = (B_1^{ov} - B_2^{ov})^2$ 。由式(1)获得重叠区最下面一行各像素点的累积误差,从累积误差最小的点回溯即可得到切割路径;当纹理沿水平方向重叠时,切割路径使用类似的方法计算。

$$E_{ij} = e_{i,j} + \min(E_{i-1,j-1}, E_{i-1,j}, E_{i-1,j+1}) \quad (1)$$

根据上述方法,图 2(b)中的重叠像素点  $E_{11}$ 、 $E_{22}$ 、 $E_{32}$ 、 $E_{43}$ 、 $E_{52}$ 、 $E_{63}$ 、 $E_{74}$ 、 $E_{83}$  为所求的切割路径,显然切割路径在每行仅经过一个像素点。然而,在实际应用中存在这样一种情况:为了绕过某些匹配误差较大的像素点,实际的最佳切割路径会经过同一行的多个像素点。如图 2(c)所示,像素点  $E_{11}$ 、 $E_{22}$ 、 $E_{23}$ 、 $E_{34}$ 、 $E_{43}$ 、 $E_{42}$ 、 $E_{51}$ 、 $E_{62}$ 、 $E_{63}$ 、 $E_{74}$ 、 $E_{83}$  是最佳切割路径,此时,虽然经过的像素点比图 2(b)中多,但总误差值却较小。因此,Image Quilting 算法求出的切割路径并不是最优化的。

3) Wang Tiles 不能真正地实现无缝拼接。文献[11-12]均指出 Wang Tiles 存在中心和拐角区域的拼接问题。对图 3 中两块邻接的 Wang Tiles 局部放大后可以看出:中心区域由 4 种颜色的子图块共同缝合而成,累积误差较大;相邻边拼接时,拐角处的颜色也不能完全匹配。

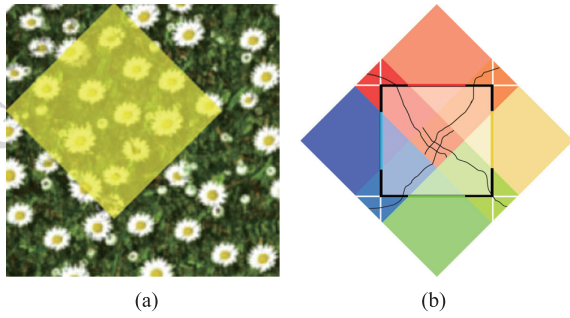


图 1 Wang Tile 示意图  
Fig. 1 The diagram of Wang Tile

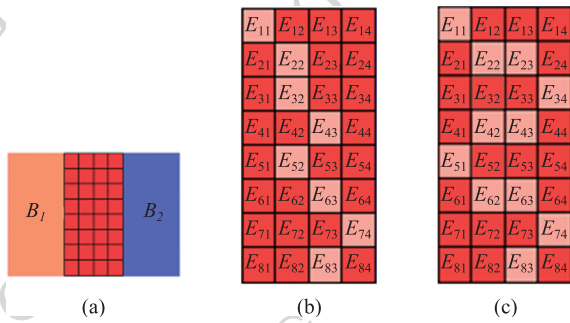


图 2 重叠区域切割路径分析  
Fig. 2 The analysis of cutting path at the overlap

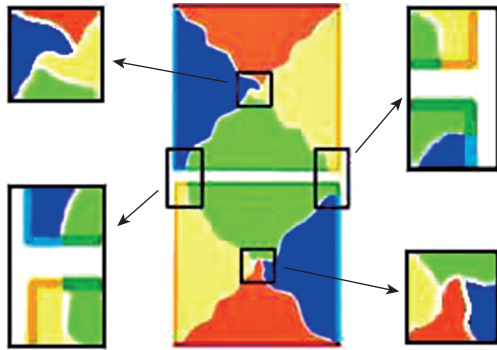


图 3 Wang Tiles 的接缝问题  
Fig. 3 The seam problem of Wang Tiles

## 2 RW-Tiles 纹理合成算法

针对文献[8]算法的不足,提出 RW-Tiles 算法,以下首先给出切割路径计算方法,然后详细描述构造 RW-Tiles 集合以及纹理合成的流程。

### 2.1 基于边结构的切割路径计算方法

与 Image Quilting 算法相似,使用像素 RGB 的空间欧氏距离衡量纹理重叠区域的匹配程度,定义两块纹理  $B_1$  和  $B_2$  重叠区域的误差表面为  $e = (B_1^{ov} - B_2^{ov})^2$ 。考虑到虽然同一纹理图片中的像素点与其

邻接点在亮度和色度上有相关性,但重叠区域的像素点在匹配误差值上与其邻接点并没有明显的关系,因此定义重叠区域像素点的误差值

$$E_{ij} = e_{i,j} \quad (2)$$

式中, $i,j$  为重叠区域像素点的行号和列号, $e_{i,j}$  为第  $i$  行  $j$  列中两重叠像素点 RGB 的空间欧氏距离。由式(2)得,所有重叠区域像素点的累积误差值

$$AE = \sum_{i \in I, j \in J} E_{ij} \quad (3)$$

式中, $I$  和  $J$  分别为重叠区域的行数和列数。

最优化的切割路径要求起点到终点所经过的像素点误差值之和最小,其实质就是最短路径的求解。为了确定最小误差路径,把纹理重叠区域的像素点作为网络拓扑结构中的节点,并设任一像素点到其邻接点(8 邻域)的路径长度为两像素点的匹配误差值之和,到其非邻接点的路径长度为无穷大,构建重叠区域的网络数据。由于任一像素点最多只有 8 个邻接点,因此构建的网络数据较为稀疏,为了避免邻接矩阵的高冗余度和邻接表的复杂性<sup>[14]</sup>,以更紧凑和更直观的数据方式表示网络拓扑信息,采用基于边的数据结构<sup>[15]</sup>存储重叠区域的网络数据,并使用文献[15]中的最短路径算法求解切割路径,具体细节不再赘述。

### 2.2 RW-Tiles 的构造

构造 RW-Tiles 的过程分为以下 8 个步骤:

1) 从样图中随机复制 4 个同样大小的正方形子图块,设为  $B_1, B_2, B_3, B_4$ 。

2) 用不同的颜色表示  $B_1, B_2, B_3, B_4$ , 并把它们按两两重叠的方式拼成一个较大的正方形,如图 4(a)所示。

3) 沿子图块的对角线(图 4(a)中的白线)裁剪得到的正菱形块即是 RW-Tile 的初始框架,把初始框架的重叠区域分为 5 个部分:仅有  $B_1$  和  $B_2$  重叠的区域  $O_n$ ; 仅有  $B_2$  和  $B_3$  重叠的区域  $O_e$ ; 仅有  $B_3$  和  $B_4$  重叠的区域  $O_s$ ; 仅有  $B_4$  和  $B_1$  重叠的区域  $O_w$ ;  $B_1, B_2, B_3, B_4$  共同重叠的中心区域  $O_c$ , 如图 4(b)所示。

4) 以  $O_n$  的外端像素点  $p_n^s$  为起点,使用 2.1 节的方法确定  $B_1$  和  $B_2$  在  $O_n$  中的最短路径。显然,最短路径的终点  $p_{ne}$  是  $O_n$  中与  $O_e$  相邻接的那行像素的其中之一。同理,可以确定  $O_e, O_s, O_w$  中的最短路径,并分别把终点记为  $p_{ee}, p_{se}, p_{we}$ , 如图 4(c)所示。

5) 由式(3)计算  $O_c$  区域中  $B_1, B_2, B_3, B_4$  两两之间的累积误差值  $AE_{12}, AE_{13}, AE_{14}, AE_{23}, AE_{24},$



为了验证本文算法的合成效果,比较 RW-Tiles、Wang Tiles、 $\omega$ -Tile 3 种算法的结果(实验所用纹理样图以及 Wang Tiles 和  $\omega$ -Tile 算法的纹理合成图均来自于文献[9]),如图 7 所示,当样图为随机纹理或半结构性纹理时,RW-Tiles 的合成效果略好于  $\omega$ -Tiles,由于 Wang Tiles 存在中心和拐角区域不匹配问题,所以质量最差(破碎的白花和辣椒较多);当

样图为结构性纹理时,RW-Tiles 的效果明显好于 Wang Tile 和  $\omega$ -Tiles,能够更多地保持结构性纹理的特征。总之,RW-Tiles 算法合成的纹理质量较高。另外,使用  $128 \times 128$  像素的样图构造 8 个  $64 \times 64$  像素的 RW-Tiles 并生成  $1280 \times 1280$  像素的合成纹理,总共需要不到 2 s 的时间,基本满足实时合成的需要。

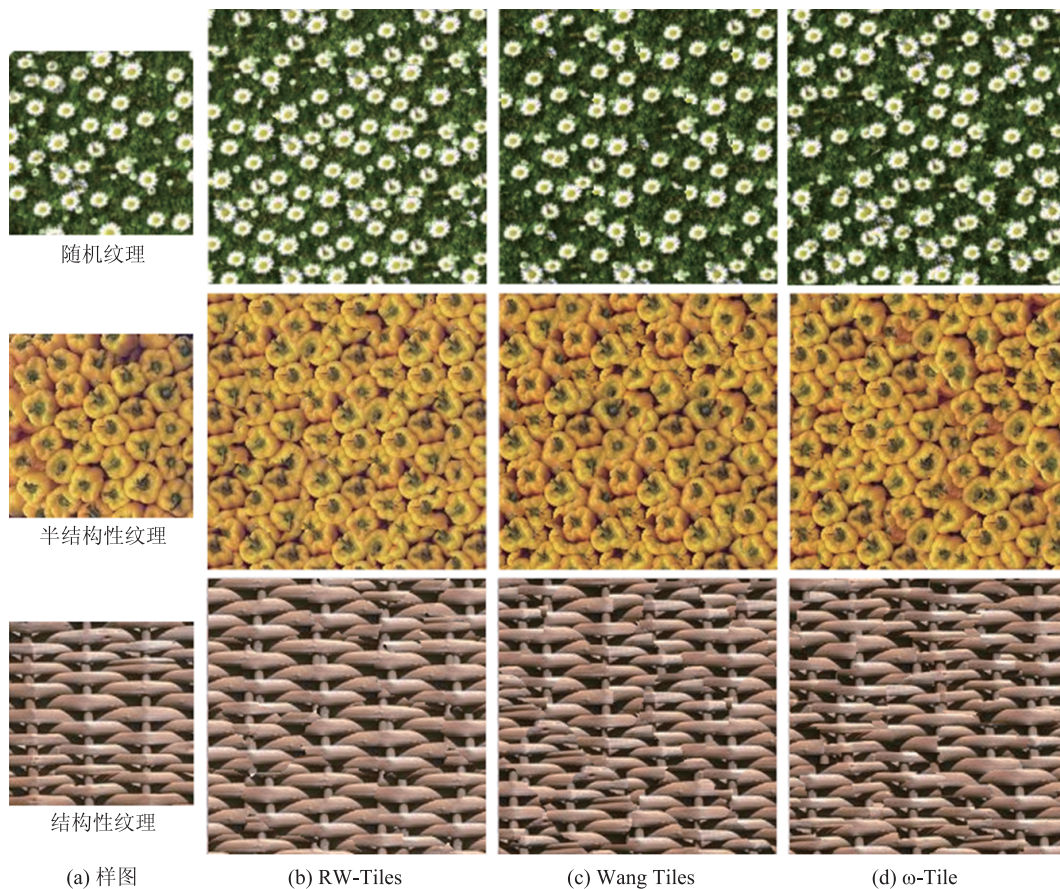


图 7 纹理合成结果的比较

Fig. 7 The comparison of the texture synthesis results

## 4 结 论

RW-Tiles 纹理合成算法,构造的 RW-Tiles 有效避免了 Wang Tiles 存在的问题,采用随机的正菱形填充方法在视觉上使最终的合成纹理与样图保持一致。实验结果表明,对于不同类型的纹理样图,RW-Tiles 算法都能够得到质量较高的合成纹理。下一步工作是将该算法应用到地形以及 3 维网格模型的纹理贴图。

## 参考文献(References)

- [ 1 ] Zhu W H, Wei B G. The technology of sampled-based texture synthesis [J]. Journal of Image and Graphic, 2008, 13(11): 2063-2069. [朱文浩,魏宝刚. 基于样本的纹理合成技术综述[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(11): 2063-2069.]
- [ 2 ] Efros A, Lung T K. Texture synthesis by non-parametric sampling [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision. Corfu, Greece: IEEE Computer Society, 1999: 1033-1038.
- [ 3 ] Wei L Y, Levoy M. Fast texture synthesis using tree-structured

- vector quantization [C] // Proceedings of ACM SIGGRAPH. New Orleans, Louisiana, USA: ACM Press, 2000: 479-488.
- [ 4 ] Ashikhmin M. Synthesizing natural textures [C] // The ACM Symposium on Interactive 3D Graphics. Chapel Hill North Carolina. USA: ACM Press, 2001: 217-226.
- [ 5 ] Tong X, Zhang J, Liu L, et al. Synthesis of bidirectional texture functions on arbitrary surfaces [C] // Proceedings of ACM SIGGRAPH. San Antonio, Texas, USA: ACM Press, 2002: 665-672.
- [ 6 ] Efros A, Freeman W T. Image quilting for texture synthesis and transfer [C] // Proceedings of ACM SIGGRAPH. Los Angeles, California, USA: ACM Press, 2001: 341-347.
- [ 7 ] Kwatra V, Schodl A, Essa I, et al. Graphcut textures: image and video synthesis using graph cuts [J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 277-286.
- [ 8 ] Cohen M F, Shade J, Hiller S, et al. Wang tiles for image and texture generation [J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 287-294.
- [ 9 ] Ng T Y, Wen C H, Tan T S, et al. Generating an  $\omega$ -tile set for texture synthesis [C] // Proceedings of Computer Graphics International. New York, USA: IEEE Computer Society, 2005: 177-184.
- [ 10 ] Xue F, Zhang Y S, Jiang J L, et al. Real-time texture synthesis using s-tile set [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2007, 22(4): 590-596.
- [ 11 ] Zhang X, Kim Y J. Efficient texture synthesis using strict Wang Tiles [J]. Graphical Models, 2008, 70(3): 43-56.
- [ 12 ] Xue F, Cheng C, Jiang J L. Wang Tile-based improved texture synthesis [J]. Journal of Computer Applications, 2010, 30(8): 2098-2100. [薛峰, 成诚, 江巨浪. 基于 Wang Tile 的改进纹理合成算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(8): 2098-2100.]
- [ 13 ] Wang H. Proving theorems by pattern recognition-II [J]. Bell Systems Technical Journal, 1961, 40: 1-41.
- [ 14 ] Yue Y, Gong J Y. An efficient implementation of shortest path algorithm [J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1999, 24(3): 209-212. [乐阳, 龚健雅. Dijkstra 最短路径算法的一种高效率实现[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1999, 24(3): 209-212.]
- [ 15 ] Chen G L, Pang M Y, Wang J D. Calculating shortest path on edge-based data structure of graph [C] // Proceedings of the 2nd International Workshop on Digital Media and its Application in Museum and Heritage. Chongqing, China: IEEE Computer Society, 2007: 416-421.