

## 面向纹理合成的块尺寸自动选择算法

江巨浪<sup>1\*</sup>, 李飞<sup>2</sup>, 朱柱<sup>1</sup>, 詹文法<sup>1</sup>

(1. 安庆师范学院 物理与电气工程学院, 安徽 安庆 246133; 2. 安庆师范学院 数学与计算科学学院, 安徽 安庆 246133)

(\* 通信作者电子邮箱 jiangjulang@126.com)

**摘要:**在现有的基于块的纹理合成算法中, 针对块尺寸需要人工选择从而导致纹理合成质量不确定的问题, 提出一种纹理合成中的块尺寸自动选择算法。在纹理样本上按扫描线顺序滑动子块直到遍历所有位置, 对子块与纹理样本的直方图进行归一化与均值滤波预处理, 然后计算二者直方图的交; 在不同子块位置的上述计算结果中, 取其最大值作为子块与样本的颜色相似度。针对颜色相似度与块尺寸的近似单调递增关系, 采用二分法计算相似度阈值点所对应的横坐标, 将其作为纹理合成的块尺寸。多种类型纹理的实验结果表明, 该方法自动选择的块尺寸与最佳经验取值范围相吻合。所提方法不仅适用于结构性纹理的合成, 而且适用于随机性纹理的合成, 能够获得理想的合成结果。

**关键词:**纹理合成; 纹理样本; 块尺寸; 自动选择; 颜色相似度

**中图分类号:** TP391.41 **文献标志码:** A

### Automatic selection algorithm of patch size for texture synthesis

JIANG Julang<sup>1\*</sup>, LI Fei<sup>2</sup>, ZHU Zhu<sup>1</sup>, ZHAN Wenfa<sup>1</sup>

(1. School of Physics and Electrical Engineering, Anqing Teachers College, Anqing Anhui 246133, China;

2. School of Mathematics and Computational Science, Anqing Teachers College, Anqing Anhui 246133, China)

**Abstract:** In previous patch-based texture synthesis algorithm, the size of patch requires artificial choice which leads to an uncertainty quality of texture synthesis, so an automatic selection algorithm of patch size for texture synthesis was presented. When the patch was slid on the exemplar in scan-line order until getting through all the plane, the histograms of the patch and the exemplar were both pretreated by normalization and mean filtering, then the intersection of the two histograms was calculated. Among all the calculation results for different position, the maximum value was selected as the measurement of the color similarity between patches and exemplar. Due to approximate monotone increasing relation between color similarity and patch's size, bisection method was adopted to calculate the abscissa for the color similarity threshold point, and the abscissa was used as the patch's size for texture synthesis. The experimental results of various types of textures show that the size of patch automatically selected by this method coincides with the range of best empirical value. Compared with the other automatic selection methods of patch's size, this method not only applies to structured texture synthesis, but also applies to stochastic texture synthesis, and obtains suitable results of texture synthesis.

**Key words:** texture synthesis; texture exemplar; patch size; automatic selection; color similarity

## 0 引言

纹理合成技术基于给定的小尺寸纹理样本生成大面积的纹理图像, 并保持纹理结构的相似性和连续性。这种技术在真实感绘制、图像修补、数据压缩、非真实感绘制等技术领域具有广阔的应用前景。纹理合成的基本思想是基于马尔可夫随机场(Markov Random Field, MRF)模型, 该模型认为纹理具有局部统计特性, 即空间任一位置像素值由其有限个邻域像素决定。纹理合成目前主要有基于点和基于块的两种方法。基于点的方法最早由Efros等<sup>[1]</sup>提出, Wei等<sup>[2]</sup>使用多分辨率方法提升了纹理合成质量, 利用树形矢量量化(Tree Structure Vector Quantization, TSVQ)技术提高了合成速度。Kwatra等<sup>[3]</sup>提出了全局优化纹理合成算法。Lefebvre等<sup>[4]</sup>将样本纹理由像素颜色空间转换到外观空间以提高合成速度。肖春霞等<sup>[5]</sup>联合纹理细节与颜色通道, 运用直方图匹配方法解决了纹理特征断

裂问题, 提高了合成质量。基于点的合成方法对于结构性纹理的合成效果适应性不佳, 且效率不高。Efros等<sup>[6]</sup>提出了基于块的纹理合成方法, 每次从样本纹理中寻找边界像素匹配的纹理块填充到输出图像中, 采用最小误差路径缝合方法消除不同纹理块拼接的接缝。该方法使纹理合成速度得到极大提升, 并且能较好地保持纹理结构特征, 对各种类型纹理均有较好的适应性。Kwatra等<sup>[7]</sup>提出了一种基于Graph Cuts的纹理合成算法, 以输入纹理样本作为填充单元, 以选定位移位置填充到输出图像中, 并由Graph Cuts决定最终的输出区域。王相海等<sup>[8]</sup>提出一种基于并行波峰模式的规则块拼接纹理合成调度算法, 使块匹配的纹理合成算法适用于多核CPU的并行计算, 以提升合成速度。Cohen等<sup>[9]</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。王继东等<sup>[10]</sup>在Wang Tiles方法的基础上提出一种旋转的

收稿日期: 2014-04-28; 修回日期: 2014-06-19。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61306046)。

**作者简介:** 江巨浪(1967-), 男, 安徽潜山人, 教授, 博士, 主要研究方向: 计算机图形学、图像处理; 李飞(1987-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 数字图形处理; 朱柱(1983-), 男, 安徽淮南人, 博士, 主要研究方向: 数字图形与视频信号处理; 詹文法(1978-), 男, 安徽怀宁人, 教授, 博士, 主要研究方向: 数字信号处理。

Wang Tiles 纹理合成算法,优化纹理缝合路径,改善了中心与拐角区域纹理的连续性。

在基于块的纹理合成算法中,块尺寸的大小是直接影响纹理合成质量的关键参数。块尺寸如果过小,就会导致合成结果的不稳定,甚至不能保持样本的纹理结构;如果块尺寸过大,则导致可选的纹理块数量太少,块的边界匹配效果不佳。一般情况下,块尺寸的大小主要由人工设定,通过反复测试纹理合成效果进行调整,这种方法缺乏自适应性。为此,聂俊岚等<sup>[11]</sup>提出基于纹理相关性特征值得出自动选择纹理块尺寸的算法,该方法对于纹理相关性较强的样本效果较好,但不适用于纹理相关性较小的样本。陈昕等<sup>[12]</sup>提出一种大尺寸纹理的实时合成算法,该算法通过对分析纹理特征变化的周期性,达到估计纹元尺寸的目的。张伟伟等<sup>[13]</sup>利用图像灰度共生矩阵提取样本的纹理特征,通过相关纹理特征与最优块尺寸的关系,实现了块尺寸的自动选择。文献[12-13]中的方法实质上假设纹元尺寸为最优块尺寸,主要用于结构性较强的纹理样本,对于随机性纹理则难以应用。本文在定义纹理样本与其子块的颜色相似度基础上,提出一种纹理合成中的块尺寸自动选择算法。

## 1 颜色相似度定义

在基于块的纹理合成算法中,选择块尺寸的基本思想是要求纹理子块能够包含纹理样本中的主要结构单元与细节特征。当纹理子块符合以上要求时,子块与样本的颜色分布概率通常具有较大的相似性。据此,本文引入纹理的颜色相似度定义,将其用于判断纹理子块尺寸是否满足上述要求。

### 1.1 直方图的归一化与滤波

由于纹理样本与其子块的像素个数差异较大,可采用归一化的直方图用于二者颜色分布概率的比较。对于彩色图像的任一颜色分量的直方图  $H$ ,如果满足下式:

$$\sum_{k=0}^{255} H(k) = 1 \quad (1)$$

则  $H$  是归一化的直方图。如果  $H$  不是归一化的直方图,可运用下式进行归一化处理:

$$H = H / \sum_{k=0}^{255} H(k) \quad (2)$$

由于子块中的像素个数相对较少,通常有较多的灰度级缺失,导致其与纹理样本的直方图存在较大误差。考虑人眼对灰度量化等级的分辨能力,即在 256 个量化等级下的 4 个灰度级的差别不易被感觉到,在判断纹理图像视觉内容差别的量化计算中,忽略 4 个量化间隔以内的灰度级差具有符合图像主观评价标准的实际意义。对于纹理样本及其子块的归一化直方图,可采用长度为 9 个像素的均值滤波模板进行滤波处理。图 1 中,图(a)是  $64 \times 64$  的纹理样本,图(d)是从图(a)中选取的纹理子块,图 1 给出了纹理样本及其子块的红

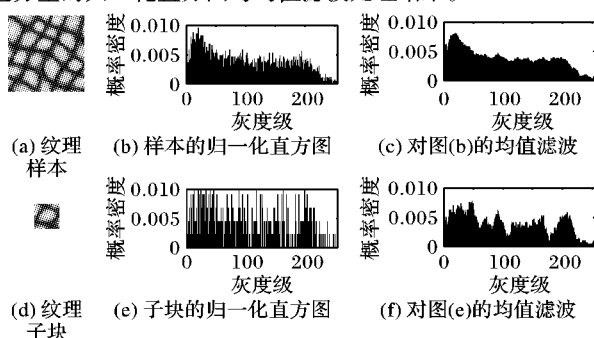


图1 直方图的归一化与均值滤波预处理

### 1.2 颜色相似度

设  $I_1$  为纹理合成算法中的纹理样本,  $I_2$  是从  $I_1$  中选取的子块。设  $I_1$  的归一化滤波直方图为  $H_1$ , 其 RGB 分量为  $HR_1$ 、 $HG_1$  与  $HB_1$ ;  $I_2$  的归一化滤波直方图为  $H_2$ , 其三颜色分量为  $HR_2$ 、 $HG_2$  与  $HB_2$ 。  $H_1$  与  $H_2$  的交可按三个颜色分量分别计算,然后取平均值:

$$Intersec(H_1, H_2) = \left[ \sum_{k=0}^{255} \min(HR_1(k), HR_2(k)) + \sum_{k=0}^{255} \min(HG_1(k), HG_2(k)) + \sum_{k=0}^{255} \min(HB_1(k), HB_2(k)) \right] / 3 \quad (3)$$

如果  $H_1$  与  $H_2$  的交越大,表明  $I_1$  和  $I_2$  的颜色分布越接近,所包含的纹理结构与细节具有越多的相似性。当块尺寸一定时,  $H_2$  将随选取子块的位置不同而发生变化,  $H_1$  与  $H_2$  的交也跟随变化。为此,可使子块在样本上按扫描线顺序滑动,直到子块位置遍历整个样本,将所有位置子块的归一化滤波直方图  $H_2$  的集合记为  $H_2^*$ 。计算  $H_1$  与  $H_2^*$  中的每一个  $H_2$  的交,将其中的最大值定义为样本与其子块的颜色相似度。

$$Sim = \max(Intersec(H_1, H_2^*)) \quad (4)$$

样本与其子块的颜色相似度随着块尺寸发生变化。对于图 1(a) 的  $64 \times 64$  纹理样本,使块尺寸从 1 个像素开始,逐个增加至样本尺寸 64,对每一种块尺寸按照式(4) 计算纹理颜色相似度,最后将颜色相似度与块尺寸的关系绘于图 2 中。可以看出,颜色相似度与块尺寸的关系大致呈现单调递增性质。在块尺寸逐步增大的过程中,颜色相似度开始增加很快,然后逐渐变慢;当块尺寸增加至样本尺寸时,颜色相似度的值达到最大值 1。

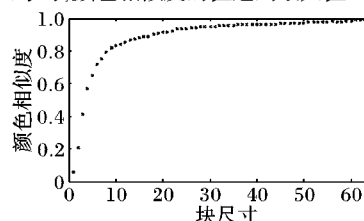


图2 颜色相似度与块尺寸的单调递增关系

## 2 块尺寸自动选择算法

从颜色相似度与块尺寸的关系看,块尺寸越大,相对应的颜色相似度的值也越大,纹理子块包含越多的细节信息与结构信息。本文通过大量的多种类型纹理的反复测试结果表明,当颜色相似度达到阈值  $Th = 0.925$  时,所对应的块尺寸最适合于基于块的纹理合成。图 2 中,当颜色相似度等于这个阈值时,对应的横坐标即为最佳块尺寸,其值为  $BestSize = 23$ ,见图 3。为提高算法效率,考虑颜色相似度与块尺寸的单调递增关系,可采用二分法寻找颜色相似度阈值点。对于块尺寸为  $PatchSize$  的纹理样本,只需计算  $\lg(PatchSize) + 1$  种块尺寸对应的颜色相似度。图 3 中的样本为  $64 \times 64$ ,需要选择 7 种块尺寸进行颜色相似度计算,就可到达阈值点。

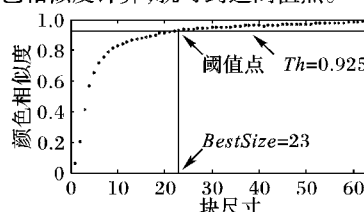


图3 基于颜色相似度的块尺寸自动选择

综上所述,纹理合成中的最佳块尺寸自动选择算法步骤如下:

步骤1 对块尺寸初始化。令块尺寸最大值等于样本尺寸:  $SizeMax = SampleSize$ ; 块尺寸最小值  $SizeMin = 1$ 。取颜色相似度阈值  $Th = 0.925$ 。

步骤2 令  $Size = (SizeMax + SizeMin)/2$ ; 在纹理样本上取尺寸为  $Size$  的纹理块,其位置按照扫描线顺序滑动,遍历样本所有位置。按式(3) 计算所有位置的子块与样本的归一化滤波直方图的交,按式(4) 取其中最大值作为对应于块尺寸  $Size$  的颜色相似度  $Sim(Size)$ 。若  $Sim(Size) < Th$ , 则令  $SizeMin = Size$ ; 否则令  $SizeMax = Size$ 。

步骤3 若  $SizeMax - SizeMin > 1$ , 转步骤2; 否则转步骤4。

步骤4 若  $|Sim(Size) - Sim(SizeMax)| < |Sim(Size) - Sim(SizeMin)|$ , 则最佳块尺寸  $BestSize = SizeMax$ ; 否则,  $BestSize = SizeMin$ 。

### 3 实验结果与分析

选择了9种  $64 \times 64$  的纹理样本,见图4。图4(a)~(c) 样本的结构性较强;图4(d)~(f) 既有一定的结构性,又有随机性;图4(g)~(i) 则有较强的随机性。每种纹理的左侧是采用本文方法计算得到的颜色相似度与块尺寸的关系图,图中标注了自动选择的块尺寸。不难发现,样本的纹元尺度越小,颜色相似度曲线在起始阶段上升速度就越快,自动选择的块尺寸相对越小。反之,纹元大的纹理样本自动选择的块尺寸相对较大,这与人工选择块尺寸得到的基本经验相一致。

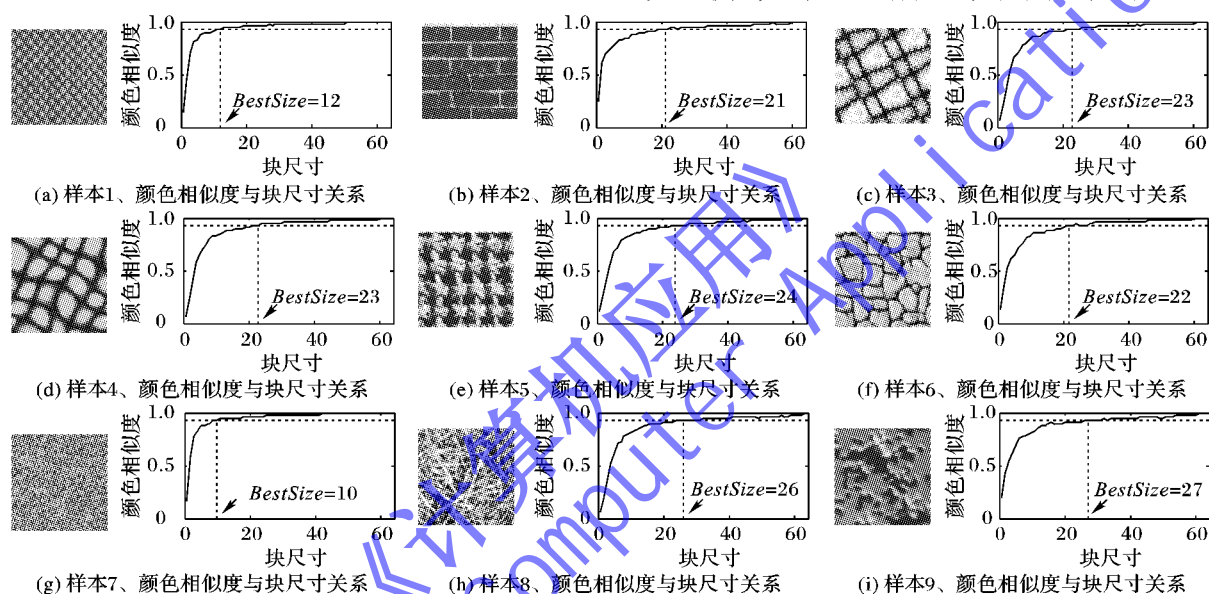


图4 采用本文方法为9种纹理样本自动选择块尺寸

以合成高质量的纹理为目标,以纹理合成的实验结果为依据,确定了以上9种纹理样本的最佳块尺寸取值范围,将其作为块尺寸人工经验值录入表1中的第2列,同时将本文方法自动选择的块尺寸  $BestSize$  录入第3列进行比较。结果表明本文方法与块尺寸经验值的取值范围是基本相吻合的。

表1 本文方法自动选择的块尺寸与人工经验取值的比较

样本序号	块尺寸经验值	$BestSize$	样本序号	块尺寸经验值	$BestSize$
1	7~13	12	6	19~26	22
2	17~22	21	7	6~11	10
3	22~26	23	8	23~31	26
4	18~25	23	9	20~35	27
5	21~25	24			

使用图4中的9种  $64 \times 64$  纹理样本,以表1中的  $BestSize$  的值作为块尺寸,采用 Efros 基于块拼接的纹理合成方法,合成了  $256 \times 256$  的新纹理,分别如图5(a)~(i)所示。从纹理合成结果看,无论是结构性还是随机性的纹理样本,合成纹理的质量都较高,表明了本文算法对不同类型纹理的适应性较好。

### 4 结语

在基于块拼接的纹理合成方法中,块尺寸的选择是影响

纹理合成质量的关键因素。本文定义了纹理样本与其子块的颜色相似度,揭示了颜色相似度与块尺寸的近似单调递增关系。通过多种类型纹理的测试,确定了颜色相似度阈值,将其用于最佳块尺寸的选择。实验结果表明,该方法自动选择的块尺寸,能同时较好地适用于结构性与随机性纹理的合成。

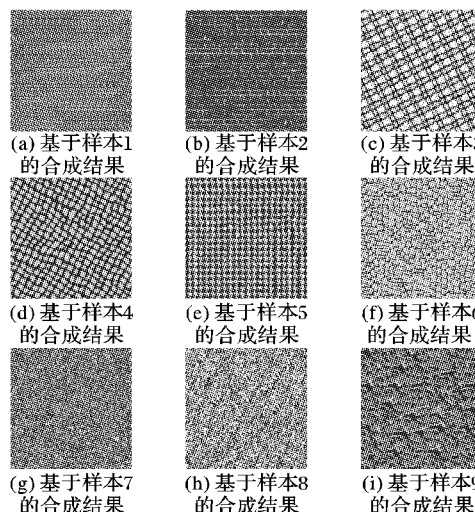


图5 采用本文方法自动选择块尺寸的纹理合成结果

(下转第2995页)



雾模型;然后,确定出模型中参数的取值范围;最后,根据所建立的去雾模型,进行实验验证,实验结果表明本模型能有效地恢复出清晰图像,且算法速度较快。

本文算法对于薄雾图像处理效果较好,而对于浓雾图像处理效果不太理想,因此有必要对于浓雾图像再作进一步的分析,以改进本算法。

#### 参考文献:

- [1] McCARTHEY E J. Optics of the atmosphere: scattering by molecules and particles [M]. New York: John Wiley and Sons, 1976: 23 - 32.
  - [2] KOPF J, NEUBERT B, CHEN B, *et al.* Deep photo: model-based photo graph enhancement and viewing [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(5): 116.
  - [3] TAN R T. Visibility in bad weather from a single image [C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2008: 1 - 8.
  - [4] FATTAL R. Single image dehazing [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 1 - 9.
  - [5] HE K M, SUN J, TANG X O. Single image haze removal using dark channel prior [C]// Proceedings of the 2009 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 1956 - 1963.
  - [6] ULLAH E, NAWAZ R, IQBAL J. Single haze removal using improved dark channel prior [C]// Proceedings of International Conference on Modelling, Identification and Control. Piscataway: IEEE Press, 2013: 245 - 248.
  - [7] HUANG X, LAI Y, CHEN F. Fast single image haze removal algorithm [J]. Journal of Computer Applications, 2010, 30(11): 3028 - 3031. (黄晓军, 来彦栋, 陈奋. 快速去除单幅图像雾霾的算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(11): 3028 - 3031.)
  - [8] TAREL J P, HAUTIERE N. Fast visibility restoration from a single color or gray level image [C]// Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Computer Vision. Piscataway: IEEE Press, 2009: 2201 - 2208.
  - [9] CHEN G, WANG T, ZHOU H. A novel physics-based method for restoration of foggy day images [J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 135(5): 888 - 893. (陈功, 王唐, 周荷琴. 基于物理模型的有雾图像复原新方法[J]. 中国图象图形学报, 2008, 135(5): 888 - 893.)
  - [10] JOBOSON D J, RAHMAN Z, WOODILL G A. A multi-scale Retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(7): 965 - 976.
  - [11] LI F, WANG H, MAO X, *et al.* Fast single image defogging algorithm [J]. Computer Engineering and Design, 2011, 32(12): 4130 - 4132. (李方, 王好贤, 毛兴鹏, 等. 单一图像的快速去雾算法[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(12): 4130 - 4132.)
- 
- (上接第 2984 页)
- #### 参考文献:
- [1] EFROS A A, LEUNG T K. Texture synthesis by nonparametric sampling [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. Piscataway: IEEE Press, 1999: 1033 - 1038.
  - [2] WEI L Y, LEVOY M. Fast texture synthesis using tree structured vector quantization [C]// Proceedings of the 2000 ACM SIGGRAPH. New York: ACM, 2000: 479 - 488.
  - [3] KWATRA V, ESSA I A, BOBICK A F, *et al.* Texture optimization for example-based synthesis [J]. ACM Transactions on Graphics—Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005, 2005, 24(3): 795 - 802.
  - [4] LEFEBVRE S, HOPPE H. Appearance-space texture synthesis [C]// Proceedings of the 2006 ACM SIGGRAPH. New York: ACM, 2006: 541 - 548.
  - [5] XIAO C, HUANG Z, NIE Y, *et al.* Global texture optimization incorporating with image detail [J]. Chinese Journal of Computers, 2009, 32(6): 1196 - 1205. (肖春霞, 黄志勇, 聂勇伟, 等. 结合图像细节特征的全局优化纹理合成[J]. 计算机学报, 2009, 32(6): 1196 - 1205.)
  - [6] EFROS A A, FREEMAN W T. Image quilting for texture synthesis and transfer [C]// Proceedings of the 2001 ACM SIGGRAPH. New York: ACM, 2001: 341 - 346.
  - [7] KWATRA V, SCHÖDL A, ESSA I A, *et al.* Graphcut textures: image and video synthesis using graph cuts [J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 277 - 286.
  - [8] WANG X, TAO J, SONG C. Task scheduling for regular patch-based texture synthesis in the parallel wavefront pattern [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2013, 25(2): 248 - 257. (王相海, 陶兢喆, 宋传鸣. 并行波峰模式的规则块拼接纹理合成调度[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(2): 248 - 257.)
  - [9] 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.
  - [10] WANG J, PANG M, ZHAO R. Texture synthesis using rotational Wang Tiles [J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(1): 49 - 54. (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.)
  - [11] NIE J, WANG Y. An algorithm for adaptively selecting the size of the candidate patches in patch-based texture synthesis [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2008, 20(10): 1353 - 1357. (聂俊岚, 王艳芬. 块纹理合成中纹理块尺寸自适应算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(10): 1353 - 1357.)
  - [12] CHEN X, WANG W. Real-time synthesis of large textures [J]. Journal of Software, 2009, 20(zk): 193 - 201. (陈昕, 王文成. 大尺寸纹理的实时合成[J]. 软件学报, 2009, 20(zk): 193 - 201.)
  - [13] ZHANG W, HE K, MENG C. Texture synthesis method by adaptive selecting size of patches [J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48(17): 170 - 173. (张伟伟, 何凯, 孟春芝. 自适应选取样本块大小的纹理合成方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(17): 170 - 173.)