

# 基于特征匹配的渐变纹理图像合成算法

叶永凯<sup>1</sup>, 禹继国<sup>1</sup>, 顾耀林<sup>2</sup>, 曹小龙<sup>1</sup>

(1. 曲阜师范大学 物理工程学院, 山东 曲阜 273165;

2. 江南大学, 江苏 无锡 214122)

**摘要:**近年来发展起来的纹理合成算法可以由小块纹理样图合成任意大小的纹理图像。合成的纹理图像虽然和样本纹理在视觉上相似且连续,但是缺少变化,因此需要有算法能使合成纹理图像产生需要的变化。文中借助输入样本图像的MIP图像和基于块的纹理合成,在边界的合成过程中加入了特征匹配以提高合成纹理图像的质量。实验结果表明,该算法可以在沿着纹理合成的方向上产生渐变的纹理图像,并通过特征匹配能够使合成的纹理图像在视觉是平滑过渡的。

**关键词:**纹理合成;局部渐变;特征匹配;MIP图像

中图分类号:TN911.73

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)11-0042-03

## Texture Synthesis with Local Variation Based on Feature Matching

YE Yong-kai<sup>1</sup>, YU Ji-guo<sup>1</sup>, GU Yao-lin<sup>2</sup>, CAO Xiao-long<sup>1</sup>

(1. College of Physics and Engineering, Qufu Normal University, Qufu 273165, China;

2. Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** The texture synthesis algorithm which developed in recent years could generate arbitrarily sized texture from a small sample. The generated texture image is very similar to the given sample, but there is no variation in it. So an algorithm that can create the variation is desired. Uses the MIP image and patch-based texture synthesis. The feature matching technique at the texture boundaries is also used to improve the results. Some experiment results show that this algorithm can make local variation along synthesized direction and make the result texture images visually smooth.

**Key words:** texture synthesis; local variation; feature matching; MIP map

## 0 引言

纹理合成在计算机图形学、计算机视觉和图像处理领域都有重要的应用,并且合成的纹理图像在视觉上与样本纹理相似且连续<sup>[1-5]</sup>。由此提出来的问题是怎样从样本纹理产生带有局部变化的纹理图像。所谓局部变化,是指合成得到的最后纹理图像视觉上是一个整体,但图像中纹理的基本元素在尺寸、颜色或形状上有一定的变化。

文献[6]中提供了一个有效的对合成纹理图像的基本元素的尺寸进行改变的方法。该算法对随机性纹理的合成有较好的效果。但对结构性较强的纹理,该算法合成结果不尽人意。

## 1 相关的工作

纹理合成在过去已经提出了许多模型和方法。在1999年的ICCV会议上,Efros和Leung<sup>[1]</sup>提出了一种采用Markov Random Fields (MRF)模型的基于像素点的纹理合成算法。该算法取得了较好的合成效果,但合成速度较慢。近来,Efros和Freeman提出了一种基于块拼贴的纹理合成算法<sup>[2]</sup>。比起以往的算法,该算法在纹理合成时间、合成纹理的视觉效果方面都取得了很大的提高,克服了以往的算法容易引起的模糊、纹元错位严重等错误。

以上几种的算法都可以从样本纹理图像合成任意大小的纹理图像。然而,合成的图像没有变化。

## 2 笔者提出的算法

笔者提出的算法中改变了在相邻块边界处的合成方法,从而使合成质量有了较大的提高,适用的纹理范围更广泛。为了得到一个好的结果,在合成结构性较强的纹理时采用了纹理特征匹配和变形技术来达到边

收稿日期:2009-02-24;修回日期:2009-05-20

基金项目:山东省优秀中青年科学家奖励基金(2005BS01016);曲阜师范大学科研基金(XJ0704)

作者简介:叶永凯(1978-),男,硕士,讲师,研究方向为计算机图形学与虚拟现实。

界处的平滑过渡。Barrow<sup>[7]</sup>和 Borgefors<sup>[8]</sup>最初使用斜切匹配实现对两幅图像的特征匹配。由此,提出了一种新的特征合成算法,该算法在纹理图像的特征匹配,不仅考虑结构相似性,同时可以和在特征一致匹配时采用结构的变形。在该算法中,特征被用来指导和提高纹理合成的质量。下面介绍本算法中用到的一些技术。

### 2.1 边界合成

当从不同分辨率的样本图像合成纹理图像的边界时,借鉴 Efros 和 Freeman 的算法。

该算法在输入样图中任取一块 B1,放在输出图像中,然后在输入样图中查找 B2,使 B2 放入输出图后与 B1 有一定的重叠,且匹配边界误差控制在一定的范围内;接着在 B1, B2 的重叠区域找出一条误差最小的路径作为 B2 的边缘,把 B2 贴入合成图中,如图 1 所示。重复以上过程,获得合成图像。

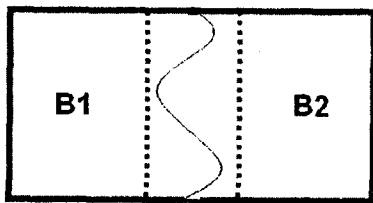


图 1 纹理块 B1 和 B2 重叠区域的最小误差路径

### 2.2 MIP 图

MIP 图是用同一个图像的不同分辨率作为样本图像的思想来自 1983 年 MIP 图像<sup>[9]</sup>的出现。MIP 映射的本质是预先计算不同层次细节的纹理图像(如图 2 所示),在文中用 MIP 图来作为合成纹理的不同分辨率的样本图像。图中,从原始图像(左)到它的 1/8 (右)。

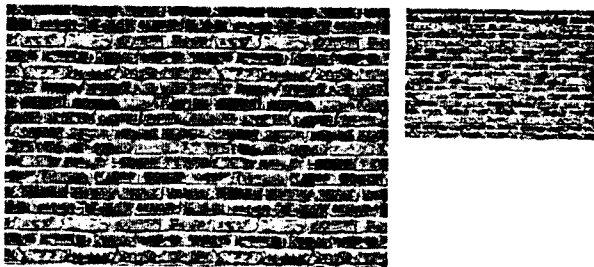


图 2 不同分辨率的输入样本图像

### 2.3 特征匹配

曲线的一些特征,比如边界和弯曲,提供给了纹理结构上的变化。这一系列的曲线特征可以由一个二值图像来表示,称之为样本纹理的特征图像。在图 3 中给出了样本纹理的特征图像的一些例子。图中,(a)为样本纹理,(b)为(a)的特征图像,(c)为样本纹理,(d)为(c)的特征图像。

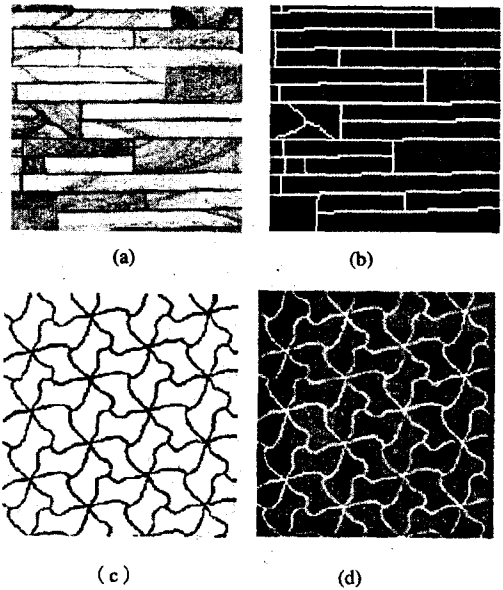


图 3 样本纹理和其特征图像

在合成不同纹理块的重叠区域(如图 4 所示)时,应用了特征匹配技术。目的是使  $P_0$  和  $P_1$  在重叠区域的特征有一个视觉上的平滑过渡。在重叠的边界区域,采用一次合成一个像素的方法。考虑在输出图像中合

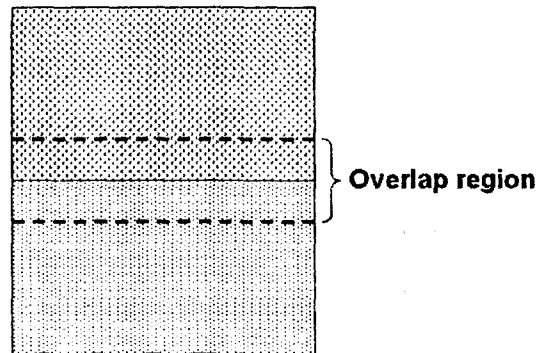


图 4 两个不同纹理块合成时的重叠区域

成  $P_1$  和  $P_0$ 。首先,得到它们的二值图像。在  $P_1$  中的特征像素点表示为  $\{f_i^{P_1}\}_{i=1}^n$ ,  $P_0$  中表示为  $\{f_i^{P_0}\}_{i=1}^m$ 。直接计算所有特征像素点的切向矢量需要大量时间,为避免这样大的计算量,仅取切线方向的一个量化的近似。在  $\{f_i^{P_1}\}_{i=1}^n$  处的切向被统一量化为四个间隔(如图 5 所示)。每个间隔有两个相反的方向。根据切线属于的间隔,把像素点归为四个集合  $\{C_i^{P_1}\}_{i=0}^3$  中的一个。两个相邻的集合有接近的切向,  $C_0^{P_1}$  和  $C_3^{P_1}$  被认为相邻。同样的,  $\{f_i^{P_0}\}_{i=1}^m$  的切向分类表示为  $\{C_i^{P_0}\}_{i=0}^3$ 。为了保持切向的连续性,对  $f_i^{P_0}$  点,仅  $C_{i-1}^{P_0}$ ,  $C_i^{P_0}$  或  $C_{i+1}^{P_0}$  集合中的特征点可以作为匹配待选点,  $f_i^{P_0}$  在它们中都有一个最匹配的待选点。这些待选点分别记作:  $f_{i-1}^{P_0}$ ,  $f_i^{P_0}$  和  $f_{i+1}^{P_0}$ , 这里 1

$\leq i_{-1}, i_0, i_1 \leq n$ 。因此,特征像素点的距离定义为:

$$D(f_i^{P_0}, f_j^{P_1}) = \|f_i^{P_0} - f_j^{P_1}\|_2 + \tau \|V_i^{P_0} - V_j^{P_1}\|_2 \quad (1)$$

这里  $f_i^{P_0}$  和  $f_j^{P_1}$  表示在  $f_i^{P_0}$  和  $f_j^{P_1}$  的 RGB 颜色值,  $V_i^{P_0}$  和  $V_j^{P_1}$  表示在  $f_i^{P_0}$  和  $f_j^{P_1}$  处的切向,  $\tau$  指示切向一致的重要程度。在合成不同分辨率的纹理图像的边界时使用这个公式,以使图像的拼接处能够比较平滑过渡。

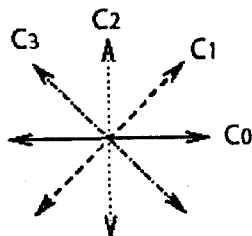


图 5 切线量化的四个方向

## 2.4 算法的内容

综上所述,算法总结如下。为了方便叙述,定义算法中用到的记号如表 1 所示。

表 1 算法中定义的一些记号

Symbol	Meaning
$I_a$	Size of input texture sample
$I_s$	Size of output texture image
$N$	Number of patches
$SI_i$	Sample image with a resolution which is lower than $I_a$
$P_i$	Patch which is synthesized from sample image $SI_i$
$N(p)$	Size of the neighborhood around a given pixel p
$L_N$	Number of scan lines at the overlap region between two patches
$L_p$	Specifies how much smaller than the original sample, it will be the lowest resolution sample

算法步骤如下:

\* 给出相应的参数,例如:  $I_s$ ,  $N$ ,  $L_p$  等。

\* 根据  $L_p$  和  $N$ ,计算出从源样本  $I_a$  递减的百分比并且应用 MIP 算法取得具有不同分辨率的样本图像  $SI_i$ 。举例来说,给定  $N = 4$ ,  $L_p = 0.4$ ,将得到  $SI_0$  具有初始分辨率,  $SI_1$  为  $SI_0$  分辨率的 80%,  $SI_2$  为  $SI_0$  分辨率的 60%,  $SI_3$  为  $SI_0$  分辨率的 40%。

\* 应用 Efros 和 Freeman 提出的算法,从样本图像  $SI_i$  合成纹理块  $P_i$ 。纹理块  $P_i$  的大小应该和输出纹理图像  $I_s$  的大小相一致。

\* 在纹理块  $P_i$  之间,定义一个有  $L_N$  条扫描线的重叠区域。在这个区域的像素点将从两个相邻的纹理块中选取。参数  $N(p)$  表示在两个相邻纹理块匹配时将有多少像素点用来计算最佳匹配点。这个参数应该大到可以包含样本图像中的纹理元素,显然,它将影响合成算法的时间和质量。

## 3 实验结果

算法的实验结果如图 6 所示((a)  $N(p) = 25$ ,  $\tau = 0.5$ ; (b)  $N(p) = 27$ ,  $\tau = 0.7$ ; (c)  $N(p) = 29$ ,  $\tau = 0.5$ ; (d)  $N(p) = 13$ ,  $\tau = 0.1$ ; (e)  $N(p) = 23$ ,  $\tau = 0.4$ ),可以看出,在不同纹理块的重叠区域之间的过渡比较平滑。实验的样本图像来自文献[10]。比较图 6(a)和图 1,可以看出在重叠区域我们的合成结果比 Tonietto 和 Walter<sup>[6]</sup>算法的合成结果平滑。但对于细节较多的图像,如图 6(b),由于只在四个切向方向上进行特征匹配和形变,所以有些细节衔接不是很理想,可以通过增加切向方向加以改进。算法实现比较容易,合成速度较快。所有的实验结果用 Matlab 编码实现,在 2.8GHz 的计算机上运行时间都小于 5 分钟。时间因表 1 中的参数的不同而有所差别,比如  $N(p)$ ,  $N$ ,  $L_N$ ,  $I_a$  等。对于所有的实验中都取  $I_s = 400 \times 200$ ,  $N = 4$ ,  $L_p = 1/4$ ,  $L_N = 40$ 。其他的参数依据样本纹理

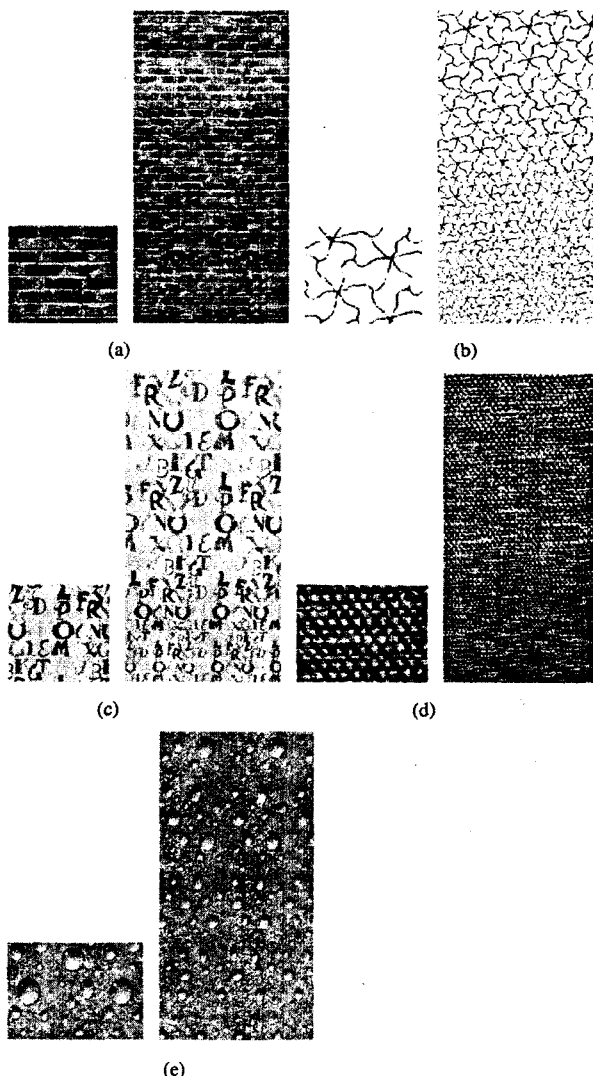


图 6 纹理合成结果

(下转第 48 页)

通过对以上程序实现的分析,其时间复杂度通过多面体的边和点来计算,设  $p$  为实现一条边的时间, $q$  为实现一个顶点的时间, $n$  为多面体的顶点个数,则其时间可表示为:

$$f(n) = 0.5 * n * \log_2(n) * p + n * q \quad (5)$$

则对公式(5)的分析可知,其时间复杂度是与顶点的个数以  $n \log_2(n)$  增长,所以可知其时间复杂度为:

$$\Theta(n \log_2(n)) \quad (6)$$

#### 4 结束语

多元样条函数的研究方法主要可以分为三类,文中针对三维空间的非均匀网络,实现了对 Box 样条的构造,采用的是向量构造 Box 样条的方法,并且突破了均匀网格的限制,在时间效率方面也有一定优势。

##### 参考文献:

- [1] 王仁宏,路游.关于非均匀剖分下多元样条空间  $S_2^1(\Delta_2)$  的拟插值算子[J].高等学校计算数学学报,1999,21(2): 97-103.
- [2] Farin G. Bezier polynomials over triangles and the construction of piecewise  $C'$  polynomials[R]. Uxbridge, Middlesex, U.K.:Dept. of Math, Brunel Univ.,1980.
- [3] Curry H B, Schoenberg I J. On Polya frequency functions

IV: the fundamental spline 09 functions and their limits[J]. J. Analyse Math,1996,17:71-107.

- [4] de Boor C. Spline as linear combination of B-splines. In Approximation Theory II[M]//Lorenz G G, Chui C K, Shumaker L L. New York:Acad Press,1976:1-47.
- [5] 李衷怡,徐欣康.基于 B 样条曲线的断层离散数据平滑算法[J].计算机技术与发展,2007,17(10):97-99.
- [6] de Boor C, Höllig K, Riemenschneider S. Box Splines[M]. New York:Springer-Verlag,1993.
- [7] Wang R H. The structural characterization and interpolation for multivariate splines[J]. Acta Mathematica Sinica,1975, 18:91-106.
- [8] Zhao Guohui, Wang Ren-Hong. A B-spline function  $S_3^1(R_3, \Delta_2^*)$  [J]. AMS/IP Studies in Advanced Mathematics, 2003,34:227-235.
- [9] 曾 箴,陈晓,周 宏,等.基于凸包算法的 3 维表面重建中边缘轮廓提取[J].微机发展(现更名:计算机技术与发展),2004,14(12):39-41.
- [10] 王 刚,高新波,姬红兵.三维重建中形状插值的快速算法研究[J].计算机辅助设计与图形学学报,2003,15(8):1012-1015.
- [11] Entezari A, Dyer R, Moller T. Linear and Cubic Box Splines for the Body Centered Cubic Lattice[M]. [s. l.]: Graphics, Usability, and Visualization (GrUVi) Lab, Simon Fraser University, 2004.

(上接第 44 页)

图像调整。可以调节这些参数以产生不同的结果。

#### 4 结束语

文中介绍了一种可以实现局部变化的纹理合成算法。该算法能够产生局部变化的纹理图像,尤其对结构性较强的纹理图像的合成效果有了较大的提高。该方法对图像拼接的接缝处理<sup>[11]</sup>也有很好的效果。但算法合成的纹理变化比较简单,如何实现按要求变化的纹理图像将是下一步的研究工作。

##### 参考文献:

- [1] Efros A A, Leung T K. Texture synthesis by Non-parametric sampling[C]//In: IEEE International Conference on Computer Vision. Greece: IEEE Press,1999:1033-1038.
- [2] Efros A A, Freeman W T. Image quilting for texture synthesis and transfer[C]//In: Proceedings of SIGGRAPH 2001. Los Angeles: ACM Press,2001:341-346.
- [3] Wei Li-Yi, Levoy M. Fast texture synthesis using tree-structured vector quantization[C]//In: Proceedings of SIGGRAPH 2000. New Orleans: ACM Press,2000:479-488.
- [4] Catmull E E. A Subdivision Algorithm for Computer Display

of Curved Surfaces[D]. Utah: University of Utah,1974.

- [5] 徐晓刚,鲍虎军,马利庄.纹理合成技术研究[J].计算机研究与发展,2002,39(11):1405-1411.
- [6] Tonietto L, Walter M. Towards Local Control for Image-Based Texture Synthesis[C]//In: Proceedings of the XV Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing. Washington: IEEE Computer Society, 2002: 252-258.
- [7] Barrow H G, Tenenbaum J M, Bolles R C, et al. Parametric correspondence and chamfer matching: Two new techniques for image matching[C]//In: Proc. 5th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence. Washington: IEEE Computer Society, 1977:659-663.
- [8] Borgefors G. Hierarchical chamfer matching: a parametric edge matching algorithm[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1988,6(10):849-865.
- [9] Williams L. Pyramidal parametrization[C]//In: Proceedings of the 10th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. Detroit: ACM Press, 1983:1-11.
- [10] Absolute Background Textures Archive(1997-2009). [EB/OL]. 2009: <http://www.grsites.com/textures/>.
- [11] 侯顺风,张佑生,江 涛.块拼接纹理合成算法在图像拼接中的应用[J].计算机技术与发展,2007,17(7):247-249.