

一种基于圆形区块随机增长的多样图约束纹理合成算法

朱文浩, 马方耀, 魏宝刚

(浙江大学计算机科学与技术学院, 浙江杭州 310027)

摘要: 本文提出了一种基于圆形区块随机增长的多样图纹理合成算法改善了扫描线算法所带来的锯齿效应. 算法利用高斯分布约束各个输入样图在合成结果中的比例, 采用基于梯度引导的泊松平滑处理相邻纹理块之间的过渡区域, 并在合成匹配函数中引入结构特征约束. 实验结果表明, 算法在引入比例约束的同时有效地保持了视觉效果和纹理结构的连续性.

关键词: 多样图纹理合成; 分布比例约束; 高斯分布

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2008) 12-2373-04

A Constrained Multi-sample Texture Synthesis Algorithm Based on Random Expanding of Circular Patches

ZHU Wen-hao, MA Fang-yao, WEI Bao-gang

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract: This paper uses random expanding of circular patches to avoid the zigzag problem of current scan line multi-sample synthesis algorithm. Gaussian distribution is introduced to constrain the texture distribution ratio, and Poisson image editing is used to smooth the overlapped area of different textures. We also modify the match function to take the structural features into account. The experiment shows this new method can control the texture distribution while keeping the continuity of visual concept and texture structure.

Key words: multi-sample synthesis; allocation ratio constraining; Gaussian distribution

1 引言

作为纹理合成的一个主要研究方向, 基于多样图的纹理合成融合多幅样图的信息, 使结果同时具有多种特征. 近年来, 国内外针对多样图纹理合成进行了广泛的研究. Zalesny^[1]采用了层次方法, 先把纹理分割成不同的子纹理块, 并用标号图 (label map) 对子纹理块进行标注, 标号图的作用是记录样图中子纹理的整体结构和布局. 然后按纹理的复杂顺序从最简单子纹理开始合成. Zalesny 的方法简化了各纹理间过渡区域的处理, 子纹理的合成仅考虑与排在它前面的纹理之间的相交部分. Bar Joseph^[2]采用统计学习方法对两种纹理样本进行混合合成, 但算法较为复杂, 耗时长, 只适用于一部分纹理, 有一定的局限性; 徐晓刚^[3]提出了一种基于 Ashikhmin^[4]方法的多样本纹理混合合成算法, 提高了合成速度, 但是结果图像仍然存在块拼接的条带痕迹.

随着研究的深入, 人们希望在纹理合成过程中施加更多的约束. Ashikhmin^[4]等在进行自然纹理合成时, 除样本图像外, 引入另一输入图像控制纹理合成结果的整体结构. 类似的还有 Hitosh^[5]等人, 他们在进行三维表面纹理合成研究时, 提出了图元掩码的概念, 先在二维空间控制纹理合成, 再将结果扩展到三维空间. 中国科学院自动化研究所的 Peng Zhang^[6]采用 EMD 算法提取和分解纹理结构, 并用于构造目标图像的纹理结构. Dischler 和 Ghazanfarpour^[7]从二维图像中提取“纹理粒子”, 控制合成结果的纹理排布, 再通过改变实体三维宏观结构, 实现合成结果的三维扩展.

2005 年以来约束纹理合成取得了一些新的进展, Lefebvre^[8]在进行并行可控的纹理合成时, 提出了样本坐标的多解扰动原理, 并实现了直观的用户可控制纹理合成, 包括多尺度随机、作用于样本和输出上的空间调整、特征拖放 (feature drag and drop)、以及周期约束等几

种简单的扰动控制方式. Vitek^[9] 等将合成问题转化为一个能量函数的优化问题, 并通过动态流场约束控制纹理的变化, 可用于视频动画中的水、火、烟等纹理生成.

如何在引入约束的同时保持多样纹理的自然拼接是目前纹理合成的一个难题. 上述一些算法以单样图纹理合成为基础, 在一定程度上保持了纹理细节的连续, 但对多样图的纹理差异及其宏观分布的视觉效果考虑不够, 而扫描线块合成算法容易出现的锯齿效应. 针对这些问题, 本文提出基于圆形区块的随机增长方法合成多样图纹理, 利用高斯分布控制样图采样比例, 并结合结构特征约束纹理合成.

2 基于圆形区块的随机增长合成

传统的扫描线区块合成算法的一个主要缺陷在于其合成结果容易出现锯齿效应. 这是由于在扫描线区块合成方式中, 区块合成位置和次序是固定的, 纹理区块间的重叠过渡区域就不可避免的按照阶梯状排列. 由于不同样图的纹理差异更容易刺激视觉, 因此在多样图纹理合成时锯齿效应尤为明显. 为了解决这一问题, 我们提出了区域随机增长的合成方式, 并采用圆形区块作为基本合成单位(如图 1).

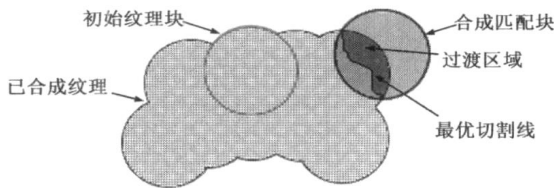


图1 圆形区域随机增长的纹理合成

算法首先随机拷贝输入样图中任意一个圆形纹理块到目标图像中心(图 1 中的初始纹理块), 以该纹理块为基础开始合成. 合成区域的生长是一个反复迭代的过程, 在已合成纹理的边缘随机确定一个合成点, 在样图中寻找以该点为中心的合成匹配块(图 1 中的粗线圆), 匹配块需要在满足与已合成区域纹理和结构上连续的同时, 满足预设的样图比例; 在合成过程中, 利用 Graph Cut 算法计算最优切割路径(图 1 中的不规则曲线), 并采用基于梯度引导的泊松平滑处理合成过渡区域(图 1 中深灰色区域)的纹理; 重复上述步骤, 直到合成完毕.

采用圆形的纹理块作为基本合成单位可以有效的将原本近乎水平、垂直的边界转化为各种不规则的分割, 缓和不同样图边界带来的视觉刺激. 随机增长的合成方式能够有效的打乱原本规则的区块分布方式, 增强结果的随机性. 此外, 这种合成方式也提高了算法的灵活性, 可以针对不同样图纹理间的匹配程度, 局部改变合成点的位置, 扩大或缩小重叠区域, 从而改变过渡区域的大小(例如, 对于纹理不太匹配的样图, 扩大过渡区

域, 缓解纹理变化过渡). 图 2 是我们提出的基于圆形区块随机增长合成方式和扫描线合成方式的结果对比:

从结果图中我们可以看到, 由于在合成的过程中是基于矩形的纹理块, 基于扫描线顺序的块拼接方式容易出现比较明显的锯齿效应, 如图 2(a) 中红线区域所勾勒的, 即纹理块的四周具有比较明显的水平、垂直边界; 而图 2(b) 随机增长方式则基本没有这样的失真, 样图的分布更为自然.

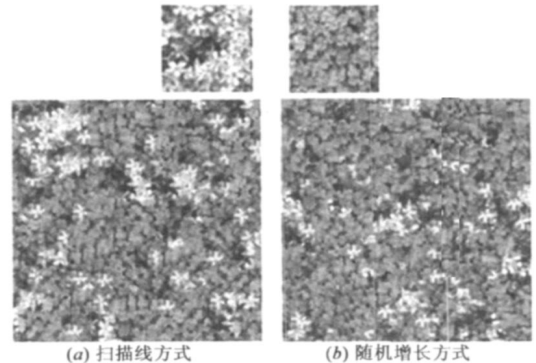


图2 两种合成结果对比

3 高频结构特征和高斯分布约束

视觉效果连续性最主要体现在纹理结构即高频结构特征上, 为了将高频信息引入匹配误差值的计算, 本文首先利用 Laplacian 边缘增强进行边缘检测, 获取各个样图的高频结构特征图. 在阶跃状边缘, 二阶导数在边缘处为零, 而在边缘点的两侧二阶导数异号. 对数字图像的每一个像素取其关于横轴方向和纵轴方向的二阶差分之和构成一个与边缘方向无关的边缘检测 Laplacian 算子:

$$L(i, j) = \nabla^2 f(i, j) \approx f(i+1, j) + f(i-1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1) - 4f(i, j) \quad (1)$$

Laplacian 算子能很好的保持边缘细节, 并有一定的噪声抑制能力. 我们将特征图的匹配按公式(2)引入区块匹配误差值的计算:

$$E(p_1, p_2) = \sqrt{(p_{1r} - p_{2r})^2 + (p_{1g} - p_{2g})^2 + (p_{1b} - p_{2b})^2 + k(p_{1f} - p_{2f})^2} \quad (2)$$

其中, p_1, p_2 为待选匹配区块同已合成区域重叠区域各自对应的像素点, p_{1r}, p_{1g}, p_{1b} 表示像素点 i 的 RGB 分量, p_f 表示像素点 i 在对应特征图中的值. $(p_{1r} - p_{2r})^2 + (p_{1g} - p_{2g})^2 + (p_{1b} - p_{2b})^2$ 计算像素点的色彩差异, $k(p_{1f} - p_{2f})^2$ 就是为了保持纹理结构引入的特征差异, k 为特征差异权重.

另一方面, 为了对样图比例进行约束, 匹配区块选择时还需要考虑在已合成纹理中各个样图的比例. 我们用高斯分布进行比例控制, 结合结构特征约束公式(2), 区块选择函数由如下公式(3)、(4)和(5)组成:

$$V(i) = \text{Error}(i) / \text{Gauss}(i) \quad (3)$$

$$\text{Error}(i) = \sum_{p, q \in C_j \cap D, C_j \in S_i} E(p, q) \quad (4)$$

$$\text{Gauss}(i) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} (2.0 - e^{-\frac{(x_i - r_i)^2}{2\sigma^2}}), & x_i \leq r_i \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x_i - r_i)^2}{2\sigma^2}}, & x_i \geq r_i \end{cases} \quad (5)$$

上述公式中, i 为输入样图 S_i 的编号; $\text{Error}(i)$ 计算对应样图中最匹配待合成区块同已合成纹理 D 边界重叠区域的匹配误差值, C_j 为待合成区块. 对于每一个样图 S_i , $\text{Error}(i)$ 值最小的 C_j 对应的区块就是样图 S_i 的最匹配的待合成区块; x_i 表示对应样图 S_i 在已合成纹理 D 中所占的比例, r_i 表示对应样图 S_i 的预设比例, σ 取值为 $\frac{1}{3}(1.0 - r_i)$ 即 100% 的分布概率位于 3σ 的位置. 区块的选择基于 $V(i)$ 的计算, 即倾向于选择纹理匹配 ($\text{Error}()$ 值小)、比例接近预设 ($\text{Gauss}()$ 值大) 的区块.

4 梯度引导的泊松平滑处理

算法采用基于梯度引导的泊松平滑处理不同样图纹理块之间的过渡区域.

Patrick Perez 等人首先提到了利用泊松方程进行图像的处理^[10], 利用外加的梯度场实现将目标特征图无缝转移到结果图中, 其中的扩张梯度场可以来自目标样图, 也可以来自目标样图和输入样图的混合. 算法即求解方程(6):

$$\min_f \iint_{\Omega} |\nabla f|^2, \quad \text{且 } f|_{\partial\Omega} = f^*|_{\partial\Omega} \quad (6)$$

其中, Ω 为待处理过渡区域, $\partial\Omega$ 为处理区域同已确定色彩区域间的边界; f^* 为已确定色彩区域的色彩计量, f 为待处理区域的色彩计量; $\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right]$ 为梯度计算. 公式(6)可以转换为以下公式(7)的离散形式:

$$\begin{aligned} \min_{f_p} \sum_{(p, q) \in \Omega, p \neq q} (f_p - f_q - v_{pq})^2 \\ \forall p \in \partial\Omega \quad f_p = f_p^* \end{aligned} \quad (7)$$

其中, p, q 为过渡区域中的像素点, f_p, f_q 为像素点 p, q 对应的色彩值, v_{pq} 为点 p, q 中心在 pq 上的投影.

合成过渡区处理之前, 首先采用 Graph-Cut 算法计算出最优的切割边界(图 1 圆形匹配块中的黑色曲线), 再以此最优切割为基准, 通过求解方程(7)得到过渡区域各点的像素值, 使得过渡区域色彩和纹理有渐变效果, 从而减少各种纹理块之间的不连续性.

5 实验结果与分析

图 3 是三个样图按 1:1:1 的比例约束合成结果. 由于采用了基于圆形匹配块的随机增长的合成方式, 合成

结果消除了水平或垂直边、角的情况; 另一方面, 合成过程由色彩和纹理的结构特征同时进行约束, 通过采用基于梯度引导的泊松平滑处理很好的解决了合成区块同已合成区域间的过渡问题, 合成结果更加趋于自然.

图 4 是两个样图的不同比例合成的结果. 从结果可以看到, 基于高斯分布的比例控制可以有效的约束各样图在合成结果中所占的比率. 要说明的是, 对于这里的比例控制只是一定程度上的近似, 主要原因是精确的区分合成结果中各像素的究竟来源于哪一幅样图是很困难的, 因为合成处理中过渡区域的像素都是通过计算得到, 而这些“过渡”纹理究竟属于那个样图是无法精确描述的. 此外, 虽然在权衡比例和连续性时本文的算法已经能够避免一定程度的局部区块效应, 但是这个问题或多或少还是会存在的, 因为如果过于强调比例, 会增加纹理视觉效果上的不连续.

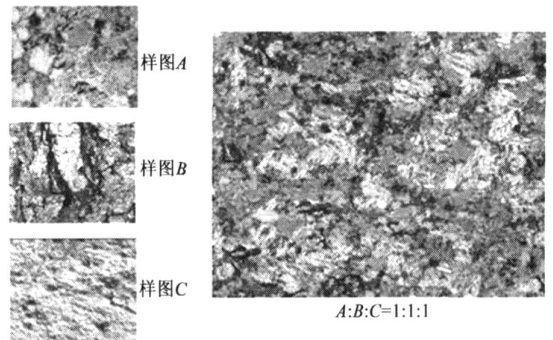


图3 三个样图等比例混合

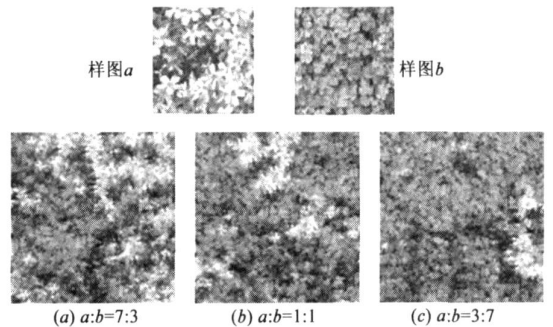


图4 多样图比例混合

6 结论

本文的研究将约束引入纹理合成, 包括样图分布比例和分布位置两种约束方式. 在基于多输入样图合成的基础上加入用户控制, 利用基于高斯分布的比例控制器控制输出结果中各样图所占比重和空间分布, 取得了较好的效果. 本文提出了基于圆形区块的随机增长的合成方式, 避免了传统算法在纹理合成过程中容易引入锯齿效应的问题. 多样图的纹理合成采样块来自于不同的输入纹理, 使得重叠区域的处理问题更突出, 尽管以往的基于动态规划算法和网络流算法在单样图纹理合成中

起到了比较好的效果,但不适用于多样图的处理.本文的算法在计算纹理块匹配时引入了高频特征的约束,并采用泊松方程的平滑扩张思想进行重叠区域处理,也取得了较为理想的结果.

本文提出的算法主要用于非结构性纹理,对结构性较强的纹理结果并不理想.我们将在今后的工作中尝试区块变形后的匹配算法,并采用更高层次的约束条件,建立更细致的约束模型.

参考文献:

- [1] A Zalesny, V Ferrari. Composite texture synthesis[J]. International Journal of Computer Vision, 2005, 62(1/2): 161-176.
- [2] Z Bar Joseph. Statistical learning of multi dimensional textures [D]. Jerusalem: The Hebrew University of Jerusalem, 1999.
- [3] 徐晓刚, 张泉方, 黄劲, 鲍虎军. 艺术风格学习[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(9): 866-869.
Xu Xiaogang, Zhang Quanfang, Huang Jin, Bao Hujun. Artistic style learning[J]. Journal of Computer aided Design & Computer Graphics, 2002, 14(9): 866-869. (in Chinese)
- [4] Michael Ashikhmin. Synthesizing natural textures[A]. Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics[C]. New York: ACM, 2001. 217-226.
- [5] Yamauchi H, Haber J, Hans Peter Seidel. Image restoration using multiresolution texture synthesis and image inpainting[A]. Proceedings of Computer Graphics International[C]. USA: IEEE Computer Society, 2003. 120-125.
- [6] Peng Zhang, Silong Peng. Color texture synthesis based on

structure[A]. Proceedings of the 3rd International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition [C]. USA: SPIE, 2003. 577-582.

- [7] Dischler J, Maritaud K, Levy B, Ghazanfarpour D. Texture particles[A]. Proceedings of EuroGraphics[C]. Switzerland: Eurographics Association, 2002. 401-410.
- [8] Sylvain Lefebvre, Hugues Hoppe. Parallel controllable texture synthesis[J]. ACM Transactions on Graphics, 2005, 24(3): 777-786.
- [9] Vivek Kwatra, Irfan Essa, Aaron Bobick, Nipun Kwatra. Texture optimization for example based synthesis[J]. ACM Transactions on Graphics, 2005, 24(3): 795-802.
- [10] P Perez, M Gangnet, A Blake. Poisson image editing[A]. Proceedings of ACM SIGGRAPH[C]. New York: ACM, 2003. 313-318.

作者简介:

朱文浩 男,1979年生于江苏昆山,2002年7月毕业于浙江大学计算机科学与技术系,主要研究方向为图像处理、机器学习.

Email: nixon3103@163.com

马方耀 男,1982年生于安徽蚌埠,硕士研究生,主要研究方向为图象处理、模式识别.

Email: zjuclarkm@163.com

魏宝刚 男,1960年生于辽宁沈阳,博士生导师,教授,主要研究领域为人工智能、图像处理、模式识别.

Email: wbg@zju.edu.cn