

引入边缘信息的纹理传输改进算法^①

文 慧, 陈昭炯

(福州大学 数学与计算机科学学院, 福州 350108)

摘 要: 本文针对 Efros 等人提出的块缝合纹理合成与传输算法, 在搜索匹配块的过程中未考虑目标图块边缘信息这一不足之处, 提出了一种改进算法. 新算法在原有的搜索误差匹配公式中, 通过计算梯度的方式增加了边缘信息处理项, 同时整个传输过程还引入了亮度重映射的匹配预处理策略. 实验结果表明, 改进后算法的传递效果优于传统算法, 尤其是目标图的边缘轮廓部分传递效果有比较明显的改善.

关键词: 纹理合成; 纹理传输; 边缘匹配; 亮度重映射

Improved Algorithm for Texture Transfer by Introducing Edge Information

WEN Hui, CHEN Zhao-Jiong

(Department of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: In Efros's classic image quilting algorithm for texture synthesis and transfer, edge information of a target image is not used in the search of blocks to match. We present an improved algorithm where a new edge item in terms of gradients is added to the original error formula for ensuring a better matching block, and a preprocessing strategy named luminance remapping is introduced in the transfer process. The experiments show that the transfer results of our algorithm are better than the traditional one, especially in the part of edges.

Key words: texture synthesis; texture transfer; edge matching; luminance remapping

1 引言

纹理传输是指将样本图像的纹理传输到目标图像中, 在保留目标图像大致图案和结构的基础上, 加入样本纹理, 模拟出具有不同纹理的艺术效果图像, 是计算机图形图像领域中一个比较活跃的研究课题. 纹理传输采用的技术主要可分为两类: 一类是基于纹理映射的方法^[1], 另一类是基于样图的纹理合成方法^[2]. 前者存在可能发生变形失真和运算速度慢的缺陷; 而后者在选择较好的纹理合成算法的基础上, 能够获得较好的效果图而且运算速度要快得多.

在以样图纹理合成技术为基础的纹理传输算法中, 比较典型的有 Hertzmann^[3]提出的基于点匹配^[4]的纹理传输算法, 以及 Efros^[5]等人提出的基于块缝合的纹理传输算法. 基于点匹配纹理传输方法, 每次在样本图中寻找与目标图像中待合成的点在某种量度上最匹配的点, 然后将该点传输到目标图中, 最终得到目标传输图. 该方

法在合成的过程中, 进行了大量的邻域匹配, 迭代次数较多, 时间复杂度较高. 而基于块缝合的纹理传输算法, 因为采用传输的基本单元不再是像素点, 而是一个纹理块, 所以较之前的点匹配纹理传输算法, 在算法速度上有了很大的提高. 近年来, 出现了许多在文[5]基础上的改进算法^[6-11]. 如文[10]采用图论中的最大流最小割算法对纹理块之间的相似性匹配进行优化, 使得重叠区域得到了更好的匹配. 文[11]提出了基于纹理传输的烙画风格图像仿真, 利用 YCbCr 颜色空间中亮度直方图的相似性匹配, 实现了纹理传输过程中的误差优化, 得到了很好的烙画风格图像仿真.

然而上述改进算法大多考虑的是整个纹理块的颜色差异, 并没有考虑到纹理块的结构信息. 如果待合成的纹理块中有边缘, 也同样是根据整个纹理块的颜色差异来作为评价相似性的度量. 因此, 在最后的合成结果图中, 边缘信息就会不清晰. 同时, 对于一些结构纹

^① 基金项目:福建省自然科学基金(2012J01262)

收稿时间:2013-04-19;收到修改稿时间:2013-05-20

理来说,破坏了纹元的结构.针对这些缺点,本文提出了一种引入了边缘信息的纹理传输算法,在搜索匹配块的过程中,不仅考虑到纹理块的颜色信息,而且考虑其边缘信息,能够搜索到与目标图更匹配的样图纹理块.实验结果表明,本文的方法能够更好地得到图像的边缘信息,保证了图像间结构信息的连贯性.

2 传统的纹理传输算法

文献[5]在提出块缝合纹理合成算法的同时,也给出了相应的纹理传输算法.与纹理合成算法不同的是,对于目标图中的每一个纹理块,除了要满足纹理合成算法过程的纹理块之间的重叠区域的匹配约束外,还要满足能够包含源图像与目标图像在传输过程中某些量的对应关系 \vec{C} (Correspondence map) 的约束,这些量可以是图像的亮度、模糊化的图像亮度、局部图像的方向角或者其他的一些可以导出的量.

同时,为了保证纹理传输的合理性,合成图像需要满足两个独立的约束条件:

1) 输出图像在视觉上应该是从输入样本图中合理的合成得来的图像;

2) 必须遵循相应的对应图映射关系.

块缝合纹理传输算法思想:将输入样本和目标图像进行分块,对目标图像中的每一个小块,在输入样本中寻找与该块最匹配的纹理块,将这两块最匹配的特征进行合并填充到输出图像中.在搜索匹配块时,通过计算样图与目标图的纹理块与重叠区域的误差值之和,选取误差最小的纹理块替换目标图中的纹理块,作为最终的传输纹理块.同时,在重叠区域采用选取一条最小边界误差路径来对其进行缝合,以减少重叠区域的拼贴在视觉上产生的明显边界.

块缝合纹理传输的算法核心包括两个步骤:搜索匹配块误差计算和最小误差路径裁剪.下面分别对其进行阐述.

2.1 索匹配块误差计算

在全局搜索匹配块处理过程中,文[5]采用的误差匹配公式为:

$$d(N(p), N(q)) = \lambda \|F^{ov}(p) - F^{ov}(q)\| + (1 - \lambda) \|F(p) - F(q)\| \quad (1)$$

其中, $F^{ov}(p)$ 表示源图待选纹理块的重叠区域, $F^{ov}(q)$ 表示已合成纹理块的重叠区域, $F(p)$ 表示源图待选纹理

块, $F(q)$ 表示待合成的纹理块, $\|\cdot\|$ 表示 F 范数,采用的距离为对应像素点的欧氏距离. λ 控制样本图与目标图对应图之间的一种效果的平衡,选择的 λ 值不同,会得到不同的结果图.

公式(1)的第一项是满足重叠区域的匹配,第二项是满足图像的颜色信息的匹配.

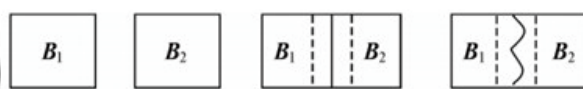
2.2 最小边界误差裁剪

边界误差的大小决定了匹配纹理块之间的吻合程度.在扫描匹配过程中,对于已合成区域的任何一个纹理块 B_1 ,与下一个待选纹理块 B_2 之间必然存在着缝合误差最小的一条路径,这条路径即为缝合纹理块边界.

设 B_1 与 B_2 为垂直边界重叠的 2 个对象块,令其重叠区域为 B_1^{ov} 和 B_2^{ov} ,定义误差为 $e = B_1^{ov} - B_2^{ov}$,为了找到最小误差路径,横向扫描 e ,计算累积最小误差 E :

$$E_{i,j} = \begin{cases} e_{i,j} & i=1 \\ e_{i,j} + \min(E_{i-1,j-1}, E_{i-1,j}, E_{i-1,j+1}) & else \end{cases} \quad (2)$$

式中, i 为行, j 为列, $e_{i,j}$ 为相互重叠的区域对应像素的欧式距离.然后,对 $E_{i,j}$ 进行逐行扫描,将 $E_{i,j}$ 中最后一行的最小值定义为最小误差路径的终点,从这一点反向跟踪,获得最佳缝合路径,如图 1 所示.在传输过程中,水平和垂直方向都会出现重叠,相交于某一点的两条路径即为最小误差路径.



(a)块 B1 (b)块 B2 (c)块边界重叠 (d)最小误差路径
图 1 最小误差路径

为了能够得到更好的传输结果,文[5]采用了迭代的方式进行优化.

文[5]的算法对于结构规则、表面平滑的这类目标图情况能够得到较合理的传输结果图.然而,对于一些结构不太规则、带有部分边缘信息的目标图,由公式(1)可知,该算法考虑了图像的颜色信息,而没有考虑目标图像的边缘信息,在搜索匹配块时,并不一定能搜索到与此纹理块在结构上和颜色上更匹配的纹理块.针对这个缺点,我们提出了如下引入边缘信息的纹理传输改进算法.

3 引入边缘信息的纹理传输改进算法

本文算法的主要思想是: 考虑目标图像的边缘信息, 提出新的相似度准则, 该准则同时考虑图像块整体的颜色信息和局部的边缘信息, 以求在匹配时计算出更符合视觉特性的最小误差.

3.1 引入边缘信息的误差公式

我们首先对当前欲进行纹理传输的目标图像块进行边缘检测, 得到其边缘像素点集合, 记为 $Edge$, 建立如下新的相似度函数:

$$d(N(p), N(q)) = \lambda_1 \|F^{ov}(p) - F^{ov}(q)\| + \lambda_2 \|F(p) - F(q)\| + \lambda_3 \sum_{q \in edge} |grad(p) - grad(q)| \quad (3)$$

其中, 公式(3)的前两项与文献[5]的意义相同, 然而这里我们采用的距离是每个像素点的亮度值之差. $grad(p)$ 为源图待选纹理块与 $Edge$ 中对应像素的像素点梯度值, $grad(q)$ 为 $Edge$ 中边缘点 q 的梯度值. λ_1 、 λ_2 、 λ_3 为控制输出结果图像效果的控制参数, $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$, λ_1 、 λ_2 、 λ_3 的值通过实验效果进行调整.

对于第三项, 本文采用的是求取像素点的梯度值. 原因在于: 图像的边缘是指其邻近的像素灰度值显著地改变了. 而在数学上, 导数是表示改变快慢的一种方法. 梯度值的大变预示着图像中内容的显著变化了. 因此, 边缘可以通过定位其梯度值大于邻域像素的方法来求得. 故公式中采用像素点的梯度值来描述边缘的方式是合理的.

因为合成的时候是逐块进行的, 所以对于每一个纹理块进行合成时, 通过在 $Edge$ 集合中检索是否有该纹理块的像素点, 如果没有, 则公式(3)的第三项值为 0; 否则就根据公式计算该值. 显然, 这就加大了边缘信息的权重. 而该值越小, 越能说明候选纹理块在对应像素上就越有可能也是边缘, 也就能够说明候选纹理块与待合成纹理块在边缘上更加匹配. 图 2 是文献[5]算法与本文算法在目标图的某个区域内所得到的不同的传输结果图.

通过图 2 的示意图, 我们可以看出, 在目标图的眉毛与眼睛部分, 文献[5]算法所选的纹理是很相近的, 边界模糊, 较不清晰; 而本文算法由于引入了边缘, 增加了边缘像素点的权重, 因而所选的眉毛与眼睛的纹理有差别, 得到了较清晰的边界.

因此, 加入了边缘信息的匹配公式, 使我们找到不仅能在颜色上匹配, 同时在结构上也匹配的纹理块.

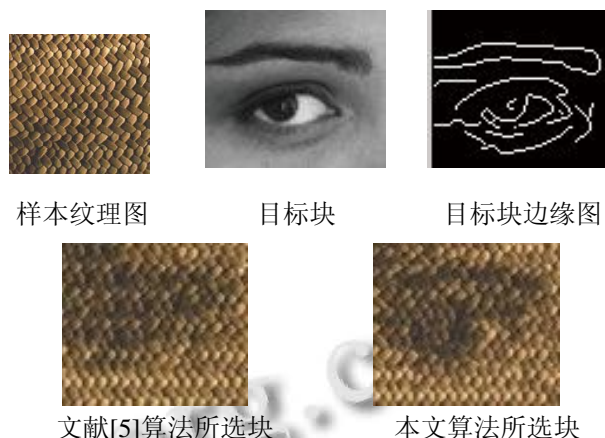


图 2 本文算法与文献[5]算法所选纹理块的比较

3.2 亮度重映射策略

图像的亮度信息包含了该图像所拥有的最大信息量, 但是, 由于样本图像与目标图像之间亮度整体上通常存在着很大的差异, 这样会增大纹理传输过程中的匹配误差, 导致目标图像中的某些区域在样本图像中无法找到最佳的匹配块, 造成传输失败. 因此, 我们需要对样本图像与目标图像进行亮度的相似性处理, 在源图像与目标图像之间形成一种映射. 本文中借鉴了 Hertzmann 的图像类推中的亮度映射函数:

$$y_i = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x_i - \mu_x) + \mu_y \quad (4)$$

其中, y_i 为处理后样本图像的亮度, x_i 表示样本图像中像素点 p 的原始亮度值, σ_x 和 σ_y 分别为样本图像和目标图像的标准差, μ_y 和 μ_x 分别为样本图像和目标图像的亮度平均值.

我们在传输的过程采用了 YIQ 颜色空间, 经过上述重映射后, 使得输入样本图与目标图映射图的亮度图在同一个尺度上. 减少了匹配过程的误差.

4 本文的算法步骤

- 1) 确定纹理块的大小 $w*w$ 和纹理块与纹理块之间的重叠区域边界宽度 $w/3$;
- 2) 将样本纹理图根据公式(4)进行亮度重映射;
- 3) 用图像二值化方法和 canny 算子对当前欲进行纹理传输的目标图像块进行边缘检测, 得到边缘像素点集合 $Edge$;
- 4) 通过公式(3)计算目标映射图 \vec{C} 的初始纹理块

与源样本图中的所有纹理块的距离, 选取误差距离最小的纹理块, 作为传输结果图中的初始纹理块;

5) 整幅传输结果图的传输, 按照从上到下、从左到右的方式逐块传输.

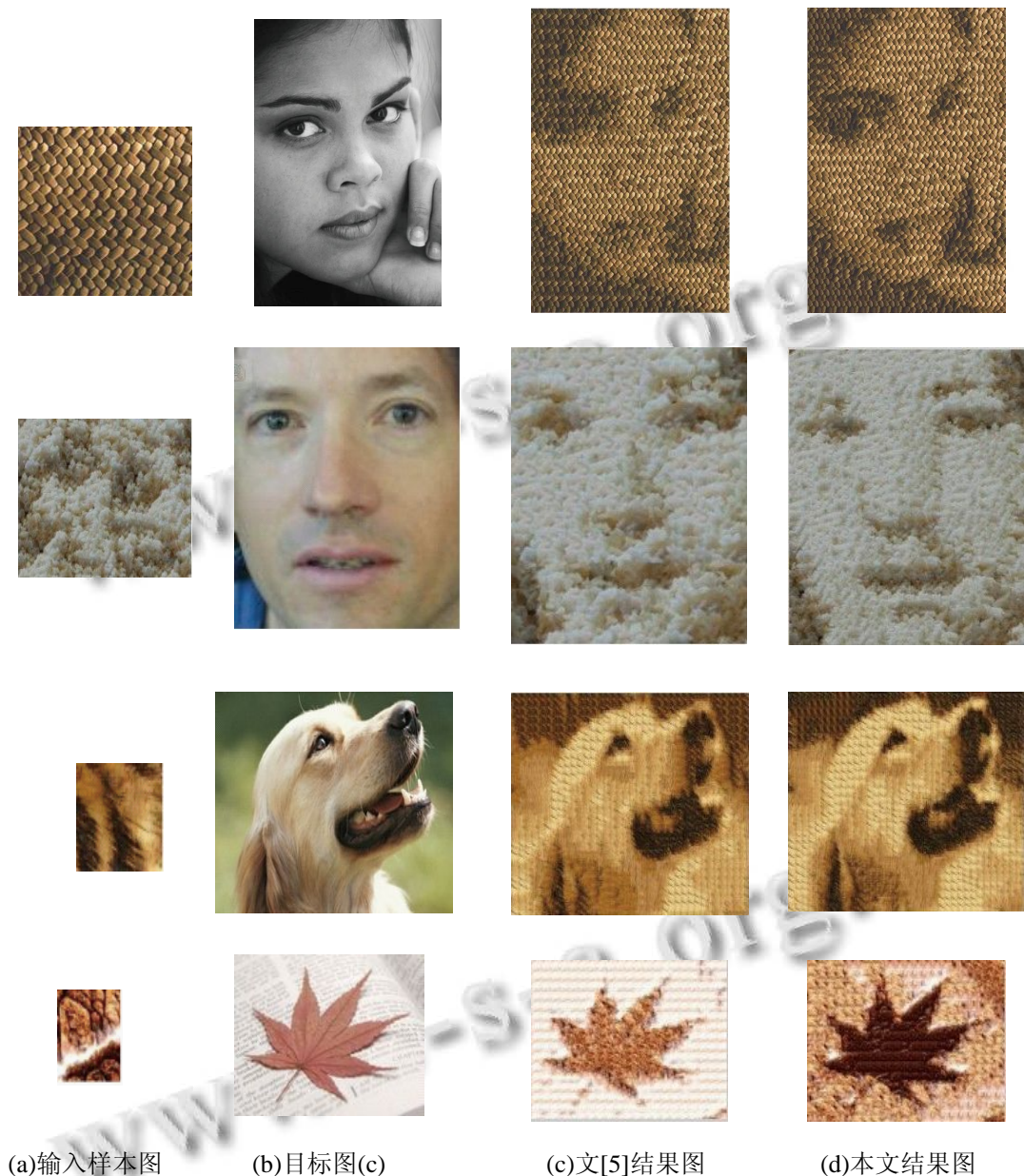


图 3 本文算法与文[5]算法传输结果比较

在样本图中全局搜索纹理块, 通过计算公式(3), 选取值最小的纹理块作为最终的传输结果纹理块, 来替换 \vec{C} 中的纹理块.

6) 在纹理块间的重叠区域中, 通过公式(2)计算, 找到重叠区域中的一条最短误差路径, 将其作为接缝线对重叠区域进行缝合.

7) 对目标映射图 \vec{C} 未传输的区域, 重复 3)、4)、

5)和 6), 直到传输结束.

如果一次传输结果不好, 可以进行迭代求精.

5 实验结果与分析

本次实验以 Matlab7.0 为开发平台, 在 P1.18GHz/1.0GB 的 PC 机上实现. 图 3 是本文算法与文献[5]算法传输结果的比较. 从实验结果可以看出,

本文算法的实验结果图轮廓清晰,与背景纹理能够融为一体,能够得到很好的传输效果.而文献[5]算法所得到的结果图,总体上虽然基本能够再现目标图像的骨架特征,但在细节方面并不能人满意.

使用文献[5]算法所获得的结果图中,我们可以看到目标图像经过传输后,有些信息如在第一行 c 列中人的眼睛很模糊,鼻子的轮廓基本看不到;第二行 c 列中眼睛、眉毛边界也不清晰;第三行 c 列的结果整体上是比较模糊的,而且狗的嘴巴、鼻子以及眼睛边缘线轮廓虽然明显,但却有断断续续的痕迹.而由于本文引入了边缘信息进行匹配,因此使用本文算法得到的结果图,则不存在这些问题.在最后一行中,由于源图与目标图的亮度差异很大,因此采用了亮度重映射策略.从实验结果可以看出,两幅图的区别很明显,最后一行 d 列结果图整体效果上很好的带有了 a 列样本图的纹理,而 c 列结果图中就比较单调.同时, b 列目标图中的书本的痕迹在 c 列结果图中完全体现不出来,而在 d 列结果图中痕迹虽然不明显,但仍能看出,在书本的亮度不同的地方,体现出了不同的纹理.

在实验中,本文的参数有:块的大小 $w*w$,重叠区域的大小为 $w*w/3$,控制输出结果图像效果的控制参数 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 .图 3 中的实验从第一行至最后一行分别记为实验一、实验二、实验三和实验四.

经过大量的实验表明,当样本纹理图与目标图都比较大时,块的值 w 可以稍微取大些;当样本纹理图比较小以及纹理细致时,块的值 w 需要取得小些. λ_1 、 λ_2 、 λ_3 的值根据目标图不同,需要采用不同的值.一般情况下, $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \lambda_3$.由于公式(3)的第三项求解图像的梯度值相比前两项的值来说,一般都会较小,因此我们会将的 λ_3 值取的比 λ_1 和 λ_2 的值要大.

采用本文算法得到这些实验结果的参数设置如表 1 所示:

表 1 本文算法所得实验结果的参数设置

参数 实验	w	λ_1	λ_2	λ_3
实验一	20	0.1	0.2	0.7
实验二	20	0.1	0.3	0.6
实验三	10	0.1	0.1	0.8
实验四	10	0.05	0.2	0.75

6 结语

本文在 Efros 提出的块缝合的纹理合成和传输算

法的基础上,提出了一种引入了边缘信息的纹理传输算法.在纹理传输的过程中,加入了边缘结构信息进行相似性匹配.从实验结果来看,与原有的算法比较,该算法能够得到较好的目标图边缘轮廓信息.但本文还有许多工作需要进一步研究.

参考文献

- 1 Catmull E. Subdivision Algorithm for Computer Display of Curved Surfaces. Dept.of Computer Science, Univ.of Utah. Salt Lake City, Utah, 1974.
- 2 Efros AA, Leung TK. Texture synthesis by non-parametric sampling. Proc. of International Conference on Computer Vision, IEEE Computer Society. 1999. 1033-1038.
- 3 Hertzmann A, Jacobs CE, Oliver N. Image analogies. Proc. of the 28 th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York, ACM Press. 2001. 327-340.
- 4 Ashikhmin M. Synthesizing natural textures. 2001 ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, 2001, (3): 217-226.
- 5 Efros AA, Freeman WT. Image quilting for texture synthesis and transfer. Proc. of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. 2001. 341-346.
- 6 Kwatra V, Schödl A, Essa I, Turk G, Bobick A. Graphcut textures: image and video synthesis using graph cuts. ACM Transactions on Graphics(TOG). ACM, 2003, 22(3): 277-286.
- 7 郑秋旭,陈昭炯.基于约束的多样图纹理设计与合成算法.计算机系统应用,2010,19(1):108-113.
- 8 黄志勇,何发智,张胜龙,蔡贤涛,程媛,梁铭铭,朱哲.基于随机查找的并行大规模纹理合成.计算机辅助设计与图形学学报,2011,23(6):1091-1098.
- 9 Busto PP, Eisenacher C, Lefebvre S. Instant texture synthesis by numbers. Proc. of Vision, Modeling and Visualization Workshop 2010. 2010. 081-085.
- 10 伍博,王燕,谷金宏.基于块拼贴技术的纹理传输研究.微计算机信息,2010(10):135-137.
- 11 周世生,王东,桑贤生.基于纹理传输的烙画风格图像仿真.系统仿真学报,2010(12).