

基于亮度重映射和梯度结构信息的纹理传输算法

谭永前¹, 曾凡菊^{1,2}

¹凯里学院大数据工程学院, 贵州 凯里 556011;

²重庆大学光电工程学院, 重庆 400044

摘要 基于 image quilting 纹理传输算法原理, 研究纹理图像的梯度结构信息、源纹理图像与目标图像亮度误差对纹理传输效果的影响。在选择候选纹理块时, 以纹理块的梯度结构信息与颜色误差同时作为判断标准。对源纹理图像进行亮度重映射, 使其与目标图像的亮度处于相同尺度, 可避免因亮度误差过大而导致无法获取最优块的情况。实验证明, 与传统纹理传输算法相比, 改进后的算法能取得更好的传输效果。

关键词 图像处理; 纹理传输; image quilting; 亮度重映射; 梯度结构信息

中图分类号 TP391.41

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP55.031001

Texture Transfer Algorithm Based on Brightness Remapping and Gradient Structure Information

Tan Yongqian¹, Zeng Fanju^{1,2}

¹School of Big Data Engineering, Kaili University, Kaili, Guizhou 556011, China;

²College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China

Abstract Based on image quilting texture transfer algorithm, we study the effects of texture gradient structure information and brightness error between source texture image and target image on texture transmission. When selecting the candidate texture block, we take both the gradient structure information and color error of the texture block as the criterion. Meanwhile, we remap the brightness of the source texture image to the same level as the brightness of the target image, which can avoid the case where the optimal block cannot be selected due to the too large brightness error. The experimental results show that compared with the traditional texture transfer algorithm, the improved algorithm can achieve a better transmission effect.

Key words image processing; texture transfer; image quilting; brightness remapping; gradient structure information

OCIS codes 100.2960; 100.2980; 100.3008; 10.2960; 110.3010

1 引言

纹理传输是在纹理合成技术基础上发展起来的, 将源图像的纹理特征传输到目标图像上, 使得最终的目标图像既保留自身特点且具有源图像纹理特征的一种技术。利用纹理传输技术可以模拟出具有不同纹理效果的艺术风格图像, 相关技术也因此成为计算机图形图像处理、非真实感图像绘制等领域的一个研究热点。目前, 相关研究主要采用基于样

图的纹理合成方法来实现纹理传输, 具体可分为基于点匹配的传输方法^[1-2]和基于块拼接的传输算法。其中, 基于块拼接的传输算法比基于点匹配的传输算法速度快, 受到研究者的青睐。

2 相关纹理图像传输算法

Efros 等^[3]在 2001 年提出以块拼接为基础的 image quilting 纹理传输算法, 该算法实现了将源图像纹理特征传输到目标图像中, 使得目标图像不仅具有

收稿日期: 2017-07-29; 收到修改稿日期: 2017-09-05

基金项目: 贵州省教育厅青年科技人才成长项目[黔教合 KY 字(2017)335]、贵州省科技合作计划[黔科合 LH 字(2017)7161 号, 黔科合 LH 字(2016)7318 号, 黔科合 LH 字(2015)7744 号]、国家自然科学基金(11464023)

作者简介: 谭永前(1984—), 男, 硕士, 讲师, 主要从事图形图像处理方面的研究。E-mail: tanyongqian1@163.com

自身的整体轮廓,还具有源纹理图像的纹理特征。2003年,Cohen等^[4]首次提出了基于Wang Tiles的纹理传输算法,为纹理传输技术找到了一条新路。

近年来,研究人员在文献^[3]、^[4]的基础上提出了许多改进的传输算法^[5-9],其基本思想都是对源图像和目标图像进行分块,目标图像中的每一块在源图像中都找到满足条件的匹配块,将这两匹配块进

行合并,填充到输出图像中,核心步骤是搜索最佳匹配块和实现块的拼接。

2.1 匹配块误差度量

在对匹配块误差进行度量时,通过计算源图像和目标图像对应像素之间的欧氏距离来确定最佳切割路线。其中,源图像和目标图像对应像素的欧氏距离表示为

$$d(p, q) = \sum_{\substack{p \in N_1, q \in N_2 \\ p, q \\ \text{corresponding}}} \sqrt{[R(p) - R(q)]^2 + [G(p) - G(q)]^2 + [B(p) - B(q)]^2}, \quad (1)$$

式中函数 R 、 G 、 B 分别表示图像块三基色的值, $d(p, q)$ 值越小表示两图像块的颜色误差越小,相似程度越高,反之,颜色误差越大,相似程度越低。

匹配块误差的度量公式为

$$d[N(p), N(q)] = \lambda_1 \|F^{\text{ov}}(p) - F^{\text{ov}}(q)\| + \lambda_2 \|F(p) - F(q)\|, \quad (2)$$

式中 $F^{\text{ov}}(p)$ 表示源图像中待选纹理块的重叠区域, $F^{\text{ov}}(q)$ 表示已合成纹理块的重叠区域^[10], $F(p)$ 表示源图像待选纹理块, $F(q)$ 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 $d(p, q)$, λ 为约束参数,用来控制源纹理图像和目标图像的平衡。

2.2 最小误差拼接路径

文献^[3]在对两纹理块进行拼接时采用最小误差拼接法,如图1所示:定义 B_1 为已合成区域任一纹理块, B_2 为待合成纹理块, B_1^{ov} 、 B_2^{ov} 分别为 B_1 、 B_2 的重叠部分, $e = B_1^{\text{ov}} - B_2^{\text{ov}}$ 为重叠部分的误差^[11]。重叠部分的最小误差路径可由下式计算得到。

$$E_{i,j} = \begin{cases} e_{i,j}, & i=1 \\ e_{i,j} + \min(E_{i-1,j-1}, E_{i-1,j}, E_{i-1,j+1}), & \text{else} \end{cases}, \quad (3)$$

式中 $e_{i,j}$ 为重叠区第 i 行第 j 列的误差值, $E_{i,j}$ 为起始于第1行第1列终止于第 i 行第 j 列的总的切割代价。在获得误差最小的点后,通过反向跟踪就可以获得最佳分割路径。对于水平方向的重叠,可以采用类似方法获得。

可以看出,image quilting传输算法只考虑了纹理块之间的颜色误差,没有考虑纹理的结构信息,因此该算法对于非结构性纹理、平滑类纹理可取得较满意的传输效果,但对于结构信息较强的纹理无法取得较好的传输效果。针对image quilting传输算

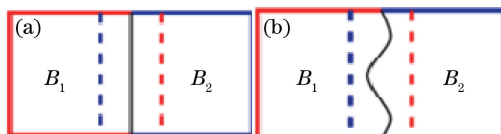


图1 最小误差拼接路径。(a)两块边界重叠;(b)拼接路径
Fig. 1 Minimum error stitching path. (a) Overlap of two block boundaries; (b) stitching path

法的这一缺陷,本文进行了改进。

3 基于亮度重映射和梯度结构信息的纹理传输算法

图像的梯度值能较好地反映纹理图像的结构特征,同时图像的亮度信息包含了图像本身大部分的信息^[12],将图像的亮度信息和梯度结构信息加入到传输算法的误差度量公式中。

3.1 亮度重映射

在纹理传输过程中,源图像与目标图像往往存在较大的亮度误差,因而无法找到最优的匹配块,导致传输失败或传输效果不佳^[13]。将源图像与目标图像进行亮度的相似性处理,使其形成一种映射关系。采用文献^[2]中的亮度重映射函数

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

式中 y_i 表示处理后的样本图像的亮度, x_i 表示源图像中 i 点处像素的原始亮度值, σ_x 和 σ_y 分别表示源图像和目标图像的标准差, μ_x 和 μ_y 分别表示源图像和目标图像的亮度均值。经过亮度重映射处理后,源图像和目标图像的亮度处于同一尺度,在YUV空间进行传输,可有效避免因源图像和目标图像之间亮度误差过大而导致的匹配失败。

3.2 加入梯度结构信息的误差度量公式

在传输算法的误差度量公式中加入图像的梯度

信息:

$$d [N(p), N(q)] = \lambda_1 \| F^{\text{ov}}(p) - F^{\text{ov}}(q) \| + \lambda_2 \| F(p) - F(q) \| + \lambda_3 \sum |V(q) - V(p)|, \quad (5)$$

式中第一项为两块重叠部分的颜色误差,第二项为候选块与待合成块的颜色误差,第三项为两块的梯度误差, $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 的值可以根据实验效果进行调整。 $d [N(p), N(q)]$ 值越小,表示两纹理块在颜色误差和梯度信息方面越接近^[14-15],即两纹理块的相似程度越高,反之,相似程度越小。

4 本文算法步骤

本文算法步骤为:1) 确定纹理块尺寸及两纹理块的重叠区域宽度;2) 使用(4)式对源图像进行亮度重映射;3) 采用索贝尔算子计算候选块和待合成块的梯度误差;4) 采用(5)式选择出差距离最小的纹理块,输出到结果图中;5) 按照扫描线顺序传

输到结果图中,直至完成。

5 实验结果分析

在 PC 机 Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU@ 2.5 GHz 4.00 GB 内存上,以 MATLAB 2010 为编程平台进行实验。图 2 为本文算法与文献[3]、[4]方法传输效果图的对比。

图 2(c) 为 image quilting 传输算法结果图,该算法在对候选纹理块进行匹配时,仅仅把纹理块的颜色误差作为度量标准,忽略了纹理本身的结构特征。当源纹理图像的结构信息较强时,无法选出较好的候选块,导致传输结果图像模糊,轮廓不清晰,亮度不明显,传输结果图在保持源图像纹理图特征和目标图像轮廓方面不够理想(如图 2(c) 中方框部分所示)。图 2(d) 为文献[4]算法传输结果图,该算法采用 Wang Tiles 集合来生成并传输纹理,提高了传输的速度(表 1),但该算法仍然采用传统颜色误差的匹配块方式,传输质量仍不理想,如图 2(d) 中



图 2 传输结果比较。(a)源图像;(b)目标图像;(c)文献[3]方法;(d)文献[4]方法;(e)本文算法

Fig. 2 Comparison of transmission results. (a) Source texture image; (b) target image;

(c) method in Ref. [3]; (d) method in Ref. [4]; (e) proposed algorithm

表1 传输时间比较
Table 1 Comparison of transmission time

Texture blocksize / (pixel×pixel)	λ_1	λ_2	λ_3	Transmission time t /min		
				Method in Ref. [3]	Method in Ref. [4]	Proposed algorithm
27×27	0.4	0.3	0.3	5.45	0.85	6.18
36×36	0.4	0.4	0.2	3.28	0.78	3.67
44×44	0.5	0.3	0.2	2.86	0.55	3.01
54×54	0.35	0.35	0.3	2.18	0.38	2.89

方框部分显示模糊,边界和轮廓显示不清楚,亮度不明显。图2(e)为本文算法传输效果图,改进后的算法综合考虑了纹理的颜色误差和结构信息对保持纹理结构的重要性,对源纹理图像进行亮度重映射,避免了目标图像与源图像因为亮度误差较大导致传输结果不理想的情况。本文算法传输结果图像整体轮廓比较清晰,亮度明显,不仅在整体上较好地保持了源纹理图像的纹理特征,而且较好地保持了目标图像本身的轮廓特征,传输效果更加符合人体视觉感受。

为减小误差,在同一纹理块尺寸下进行实验,统计5次传输时间的平均值。由表1可知,本文算法在传输时间上较image quilting算法稍长,但传输效果明显好于image quilting算法,本文算法利用较小的时间代价获得了更好的传输质量。

实验表明,传输过程中纹理块尺寸大小的选择会影响传输效果:纹理块尺寸过大,传输时间短,源纹理图像可选择样本块数量减小,传输图像中重复块多,会影响视觉效果;纹理块尺寸过小,传输时间长,而且会破坏源纹理图像的纹元,同样影响视觉效果。不同源纹理图像所宜选择的纹理块尺寸不同,对同一源纹理图像和目标图像,本文采取多次实验对比传输效果的方法来确定适宜的纹理块尺寸。对于 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 的取值,不同图像宜采用不同值,但一般应遵循 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$ 的原则。

6 结 论

基于image quilting纹理传输算法原理,研究了源纹理图像的梯度结构信息,以及源纹理图像与目标图像的亮度信息对纹理传输结果的影响。结果表明:1)在进行候选块的选择时,同时考虑纹理的颜色误差和梯度结构信息比仅考虑颜色误差能取得更好的效果;2)源纹理图像与目标图像的亮度信息误差对传输结果有较大影响,对源纹理图像进行亮度重映射,使源图像和目标图像的亮度处于同一尺度能更好地改善传输效果。本文通过编程实现了改进后的算法传输效果对比。在对较大尺寸图像进行

纹理传输时,如何提高其传输速度,将是今后努力的方向。

参 考 文 献

- [1] Ashikhmin M. Synthesizing natural textures [C]. Symposium on Interactive 3D Graphics, ACM, 2001: 217-226.
- [2] Hertzmann A, Jacobs C E, Oliver N, *et al.* Image analogies [C]// Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 2001: 327-340.
- [3] Efros A A, Freeman W T. Image quilting for texture synthesis and transfer [C]. Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, ACM, 2001: 341-346.
- [4] 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.
- [5] Li K S, Yang Z, Zhang W S. Texture synthesis image in painting based on evolutionary algorithms [J]. Computer Applications and Software, 2013, 30(3): 38-43.
李康顺, 杨珍, 张文生. 基于演化算法的纹理合成图像修复技术 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(3): 38-43.
- [6] Wang D, Dong L, Du H. A study on the algorithms for 2D texture mapping and its employment in hardware design [C]// Proceedings of the 2012 International Conference on Computer Application and System Modeling, 2012: 1271-1274.
- [7] Lukáč M, Fišer J, Bazin J C, *et al.* Painting by feature: texture boundaries for example-based image creation [J]. ACM Transactions on Graphics, 2013, 32(4): 116.
- [8] Lee H S. A new image super resolution by texture transfer [C]// IEEE International Conference on Image Processing, 2014: 3915-3918.
- [9] Lasram A, Lefebvre S. Parallel patch-based texture synthesis [C]// Proceedings of the Fourth ACM SIGGRAPH, Eurographics conference on High-

- Performance Graphics, 2012: 115-124.
- [10] Zhou R H. Texture synthesis algorithm and its application in the texture transmission [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2015.
周瑞华. 纹理合成算法及其在纹理传输中的应用研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2015.
- [11] Wu J L, Huang H B, Liu L G. Texture details preserving seamless image composition [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2013, 47(6): 951-956.
吴金亮, 黄海斌, 刘利刚. 保持纹理细节的无缝图像合成 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2013, 47(6): 951-956.
- [12] Du L L, Duan H C. An improvement to the image quilting texture transfer algorithm [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2015, 36(11): 2563-2567.
杜黎黎, 段会川. Image quilting 纹理传输算法的改进研究 [J]. 小型微型计算机系统, 2015, 36(11): 2563-2567.
- [13] Wen H, Chen Z J. Improved algorithm for texture transfer by introducing edge information [J]. Computer Systems and Applications, 2013, 22(11): 143-147.
文慧, 陈昭炯. 引入边缘信息的纹理传输改进算法 [J]. 计算机系统应用, 2013, 22(11): 143-147.
- [14] Tan Y Q, Zeng F J, Yue L, *et al.* An improved texture image synthesis algorithm [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(12): 121001.
谭永前, 曾凡菊, 岳莉, 等. 一种改进的纹理图像合成算法 [J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(12): 121001.
- [15] Tan Y Q, Zeng F J. Gradient-based Wang Tiles texture synthesis algorithm with adaptive block size [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2017, 54(5): 051001.
谭永前, 曾凡菊. 基于梯度的块尺寸自适应 Wang Tiles 纹理合成算法 [J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(5): 051001.