

基于向导矢量场的图像镶嵌算法研究

张焕龙 杨国胜 申晓华

(河南大学先进控制与智能信息研究所, 开封 475001)

摘要 为了兼顾图像镶嵌在拼缝附近的平滑过渡和整体色调的一致性,提出了一种基于向导矢量场的图像镶嵌算法。该算法针对现有图像镶嵌算法很难适应待镶嵌图像之间存在较大灰度差异这一问题,首先构建具有待镶嵌目标像素分布特性的向导矢量场;然后在此矢量场的引导下,使镶嵌目的区域的像素值经过插值、迭代不断被更新,并使得拼缝附近处的梯度值达到最小来获得局部光滑过渡、全局和谐的理想镶嵌图像。试验结果验证了该方法的有效性和适应性。

关键词 向导矢量场 图像镶嵌 迭代逼近

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)11-1665-04

Study of Image Mosaic Based on Oriented Vector Field

ZHANG Huan-long, YANG Guo-sheng, SHEN Xiao-hua

(Institute of Advanced Control and Intelligent Information Processing, Henan University, Kaifeng 475001)

Abstract In order to give attention to both the smoothness of the boundary area near the seam and the coincidence of globe intensity in a resultant mosaic image simultaneously, an image mosaic method based on oriented vector field is proposed in this paper. With respect to the problem that it is very difficult for the existing image mosaic algorithms to be adaptive for the big gray difference between the to-be-mosaic images, an oriented vector field with the distributional characteristics of to-be-mosaic object is set up at first. And then the resultant mosaic object is updated by interpolating and iterating under the guidance of the vector field. Finally, when the minimum gradient value near the seam is achieved, an ideal mosaic image with the effect of harmony in globe, and local smooth transition can be obtained. The experimental results demonstrate the effectiveness and adaptability of the presented algorithm in this paper.

Keywords oriented vector field, image mosaic, iterative approximation

1 引言

图像镶嵌主要涉及图像配准、重采样插值和拼接融合3个方面。本文仅把拼接融合(特别是融合后图像整体灰度的连续性)作为主要研究问题。传统的图像拼接融合方法主要有直接平均法(direct copy mosaic, DCM)、中值滤波法、加权平均法和多分辨率法等。直接平均法和中值滤波法因不能很好地消除镶嵌引入的拼缝而很少使用。对于加权平均

法,文献[1]先通过确定待镶嵌目标的中心,再根据镶嵌中心到边界的距离确定加权系数来进行镶嵌。该方法在待镶嵌图像灰度相差不大,且待镶嵌目标和背景比例适当的情况下可以较好地实现灰度连续。文献[2]先采用mask信号确定镶嵌区域,然后利用多分辨率法在不同尺度上进行镶嵌处理,最终即重构出镶嵌图像。尽管这种算法可以较好地消除接缝,但前提条件是待镶嵌图像必须进行亮度调整,以使其灰度严格一致。文献[3]提出了基于mask图像平滑的小波镶嵌算法(mask smooth wavelet

基金项目:河南省科委自然科学基金项目(0523020600);河南省高校创新人才工程项目(2005KYCX012)

收稿日期:2006-07-03; **改回日期**:2006-08-20

第一作者简介:张焕龙(1981~),男,2004年获河南大学计算机信息与工程学院工学学士学位,现为河南大学计算机与信息工程学院硕士研究生。主要研究方向是图像处理技术。E-mail:zh1888zh1_2@163.com

mosaic, MSWM)。MSWM 虽然对亮度调整的要求有所降低,但是对于灰度差异较大的待镶嵌图像仍然难以适用。文献[4]提出了保持待镶嵌目标和镶嵌效果图之间灰度一致的方法,但是镶嵌目的区域的图像却会以背景的方式在镶嵌图像中显现。文献[5]和[6]只是针对某些具体图像提出了解决灰度连续性问题的方法,其不仅缺乏通用性,而且对于灰度差异较大的待镶嵌图像还要经过亮度调整和连续性处理两步操作才能完成,比较繁琐。

针对灰度连续性问题,本文提出了基于向导矢量场的图像镶嵌方法(oriented vector field iterative mosaic, OVFIM)。该方法先对待镶嵌目标图像建立一个向导矢量场,再根据迭代逼近思想使镶嵌目的区域图像在向导矢量场的引导下进行插值迭代,直至收敛。这一方法不仅可以根据待镶嵌图像特征任意选取逼近此特征的几何图形来实现镶嵌目标的提取,而且可将亮度调整和连续性处理集中于插值迭代过程中,一次性解决灰度连续的一致性,以实现任意图像区域的镶嵌,并获得局部清晰、光滑无缝和全局色调协调一致的镶嵌图像。

2 向导矢量场的构建

图像镶嵌的主要目标是使待镶嵌目标在镶嵌结果图中平滑过渡,并与镶嵌目的区域保持色调整体一致。由于待镶嵌目标的像素灰度值分布情况和边界变化规律(这里选用不同方向上的差分)作为一个参照,可使镶嵌目的区域的图像在此参照下结合自身边界的过渡规律进行渐变,直至梯度最小,即可实现图像镶嵌的主要目标,故需要先在矢量域中先构建待镶嵌目标的向导矢量场(即差分矢量场),然后即可基于此向导矢量场来研究具体的镶嵌算法。

定义 $I_1, I_2 \in \mathbf{R}$ 为两个图像, Ω 为图像 I_1 中的一个闭合子集, $\partial\Omega$ 为由集合 Ω 的边界像素组成的集合; G 为图像 I_2 中的一个闭合子集, ∂G 为由集合 G 的边界像素组成的集合。将图像 I_1 中以 $\partial\Omega$ 为边界的区域图像镶嵌到图像 I_2 中的 ∂G 以为边界的区域内(如图 1 所示)。

图中, Ω 和 G 除了构成集合的元素不同外,其他都一样; $\partial\Omega$ 和 ∂G 类同 Ω 和 G 。定义图像中某一点 $p(i, j)$ 的 4 个邻域方向上的差分矢量分别为 $d_1, d_2,$

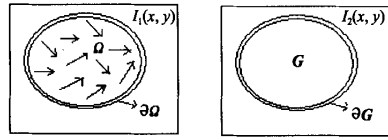


图 1 图像镶嵌示意图

Fig. 1 Sketch map of image

$d_3, d_4; \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ 分别为 4 个邻域方向上的单位矢量,依据差分的定义和矢量概念可求得 $d_1 = |I_1(i, j) - I_1(i, j+1)| \varphi_1, d_2 = |I_1(i, j) - I_1(i-1, j)| \varphi_2, d_3 = |I_1(i, j) - I_1(i, j-1)| \varphi_3, d_4 = |I_1(i, j) - I_1(i+1, j)| \varphi_4$ 。再定义由任一点 $p(i, j)$ 的 4 邻域矢量组成的集合为: $D_p = \{d_k, k=1, 2, 3, 4\}, D_\Omega$ 表示由图像 I_1 的 Ω 区域中所有像素对应的集合 D_p 所组成的集合,其表示为

$$D_\Omega = \{D_p, p(i, j) \in \Omega\} \quad (1)$$

并称 D_Ω 为向导矢量场。

3 镶嵌优化算法

3.1 镶嵌初始化

在将图像 I_1 中的以 $\partial\Omega$ 为边界的区域图像镶嵌到图像 I_2 中以 $\partial\Omega$ 为边界的区域内之前,先构建一个二值 mask 图像 w (如图 2(c) 所示),使得 w 图幅大小和 I_1 相同,而且 w 中相应于 Ω 区域内的像素值均为 1,区域外均为 0。设 V 为单位矩阵,其图幅大小和 w 相同^[6]。通过下式可以获得直接镶嵌的初始化图像 $I_{1,2}^{(0)}$ (如图 2(d) 所示,其下标 1, 2 表示 I_1, I_2 镶嵌合成):

$$I_{1,2}^{(0)}(i, j) = I_1(i, j) \times w(i, j) + I_2(i, j) \times (V(i, j) - w(i, j)) \quad (2)$$

其中, (i, j) 代表相应图像中某一具体像素点。

3.2 插值迭代

基于向导矢量场,只要能在图像 I_2 的 G 区域中求得像素集合 p ,使 p 能够逼近图像 I_1 中 Ω 区域的像素集合 q ,则图像镶嵌问题就转化为如下求最小值问题:

$$p_{\min}(x, y) = \min \left(\iint_G |\Delta p(x, y) - D_\Omega| dx dy \right) \quad (3)$$

式中, (x, y) 为相应图像中某一像素点的坐标, Δ 为某一像素 4 邻域方向上的差分算子。而式(3)的最小值求解问题还可以进一步被转化为满足式(4)的以狄

利克莱为边值条件^[8]的泊松方程求解问题,即以某一向导矢量场为参照来实现像素函数的无限逼近:

$$\begin{cases} \Delta p = D_{\Omega}, & \text{当 } \Omega/\partial\Omega \\ p|_{\partial\Omega} = q|_{\partial\Omega}, & \text{当 } \partial\Omega \end{cases} \quad (4)$$

式中, $\Omega/\partial\Omega$ 表示 Ω 的内部。这里采用超松弛迭代法求解式(4),即通过邻域像素消元法来实现像素插值的迭代逼近。

若取初始化(即时间 $t = 0$ 时)图像函数值为 $p^{(0)}(i, j) = I_{1,2}^{(0)}(i, j)$,则迭代逼近过程为

$$p^{(i+1)}(i, j) = p^{(i)}(i, j) + 0.25 \times (D_{1,2} - D_d) \quad (5)$$

$$D_{1,2} = p^{(i)}(i+1, j) + p^{(i)}(i-1, j) + p^{(i)}(i, j+1) + p^{(i)}(i, j-1) - p^{(i)}(i, j), D_{1,2} \in D_G \quad (6)$$

$$I_{1,2}^{(i)}(i, j) = p^{(i)}(i, j) \quad (7)$$

其中定义在 $I_{1,2}$ 上区域 G 中的集合 $D_{1,2}$ 和 D_G ,其求解方法类同于 D_p 和 D_{Ω} 。在每一次迭代过程中,更新图像 $I_{1,2}$ 中区域 G 的像素值,以使得区域 G 的图像在向导矢量场的引导下逐渐接近区域 Ω 的图像,直到梯度达到最小值时,即可实现镶嵌效果的光滑过渡及灰度协调^[9]。

4 试验结果及其分析

为了比较 OVFIM 算法以及其他算法对不同灰度差异图像的镶嵌效果及其适应性,以验证 OVFIM 算法的有效性,分别采用灰度差异中等和较大且已配准的待镶嵌图像进行试验,并对各类算法的镶嵌结果进行比较分析。

4.1 图像灰度差异中等时的试验结果

图 2(a)和图 2(b)分别为灰度差异中等的待镶嵌

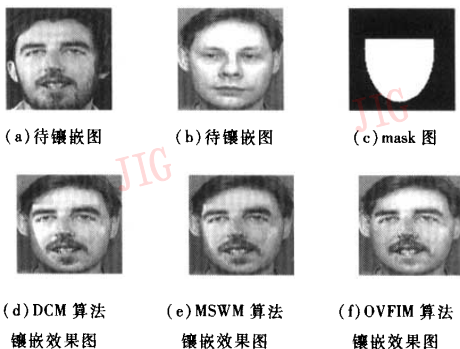


图 2 灰度差异中等时图像处理效果
Fig. 2 Experiment result with the medium intensity discrepancy

嵌原始图像,大小均为 92×112 pixels。试验目的是用图 2(a)中的面部区域替代图 2(b)中的面部区域。图 2(d)所示的是采用 DCM 算法的镶嵌试验结果。从图 2(d)中可以看出明显的拼缝,这说明 DCM 镶嵌算法已不适宜于灰度差异中等的图像的镶嵌处理。图 2 中的(e)、(f)是分别用 MSWM 算法和 OVFIM 算法镶嵌的试验结果。

从图 2(e)和图 2(f)可以看出:使用 OVFIM 算法镶嵌获得了拼缝光滑过渡、全局色调一致的理想镶嵌效果。虽然 MSWM 算法和 OVFIM 算法相比,其镶嵌效果就差了许多,但是,从图 2(e)可以看到,若对拼接质量要求不太高,则 MSWM 算法还是可以接受的。

4.2 图像灰度差异较大的试验结果

图 3(a)~图 3(d)为图像灰度差异较大时的待镶嵌原图,大小均为 92×112 pixels。试验的目的是将图 3(a)的左边眼睛、图 3(b)的嘴巴、图 3(c)的鼻子分别采用长方形、正方形等几何图形提取的特征镶嵌到图 3(d)中。从图 3(e)可以看出,DCM 算法镶嵌的边缘接缝仍清晰可见,说明该算法已经完全不能适应这一情况;从图 3(f)可以看出,MSWM 算法虽然拼缝边缘有所改善,但是全局色调的平衡效果还比较差;而 OVFIM 算法却能够取得较好的镶嵌效果(如图 3(g)所示)。



图 3 灰度差异较大时的图像镶嵌效果
Fig. 3 Experiments with the big intensity discrepancy

为了说明本文算法的通用性,又选择了除人脸之外的其他图像进行了镶嵌试验,其结果如图 4 所示。由图 4 可以看出,采用 OVFIM 算法仍可以取得较好的镶嵌效果。

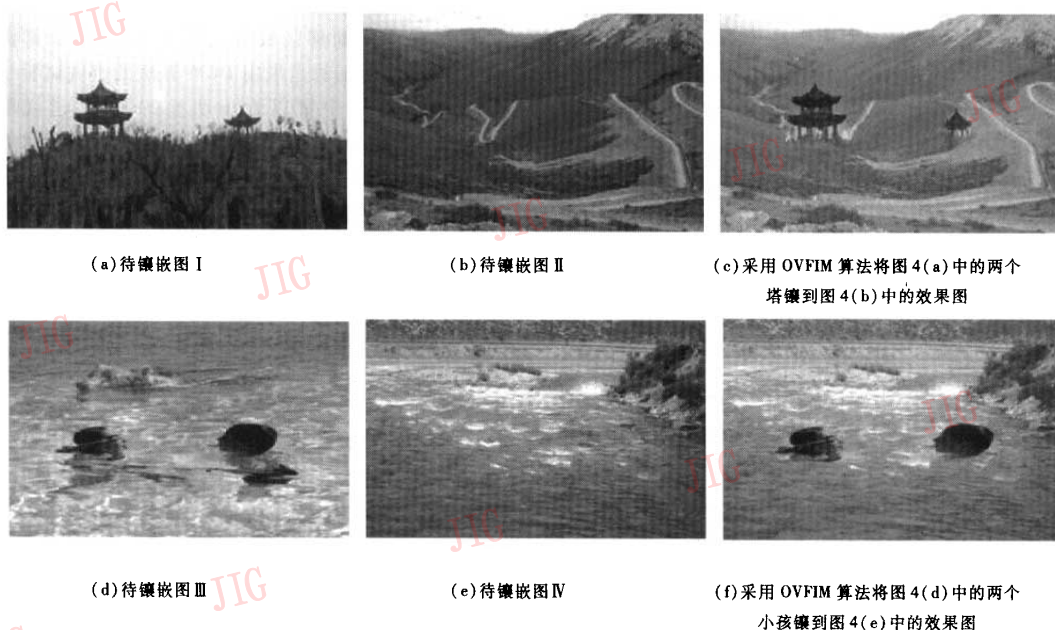


图 4 不同背景时的镶嵌结果
Fig. 4 Test in the different backgrounds

5 结 论

本文针对现有图像镶嵌算法难以适应灰度差异较大的应用场合,提出一种基于向导矢量场的图像镶嵌算法。该算法在向导矢量场的引导下,使得镶嵌目的区域的图像通过插值迭代逐渐过渡逼近,最终得到无缝、光滑,且整体灰度和谐的图像镶嵌效果。通过分析、比较试验结果,可以得出:本文所提算法在灰度差异中等和灰度差异较大的应用场合,不但都能获得较好的图像镶嵌处理效果,且具有较强的通用性。

参考文献 (References)

- Gao Li, Wei Qun. Study and implementation of image merging based on wavelet transform [J]. *Journal of Institute of Command and Technology*, 2001, 12(5): 29 ~ 32. [高丽, 韦群. 基于小波分析的图像镶嵌融合研究与实现[J]. 指挥技术学院学报, 2001, 12(5): 29 ~ 32.]
- Xie Tian-bao, Lei Xi-ling. Research on image merging technology based on wavelet transform [J]. 2002, 28(9): 167 ~ 168. [谢天保, 雷西玲. 基于小波变换的图像镶嵌技术的研究[J]. 计算机工程, 2002, 28(9): 167 ~ 168.]
- Zhang Su, Wang Xiao-ju, Xu Nai-ping. A Multi-image mosaicking technology based on wavelet decomposition [J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2001, 19(1): 23 ~ 26. [张素, 王小菊, 徐乃平. 一种基于小波分解的多图像拼接技术[J]. 西北工业大学学报, 2001, 19(1): 23 ~ 26.]
- Li Zhong-xin, Mao Yao-bin, Wang Zhi-quan. A method of image mosaicking multi-scale wavelets decomposition [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2003, 8A(11): 1261 ~ 1264. [李忠新, 茅耀斌, 王执铨. 一种基于多尺度小波分解的图像镶嵌技术[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8A(11): 1261 ~ 1264.]
- Hsuand C T, Wu J L. Multiresolution mosaic [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1996, 42(3): 981 ~ 990.
- Su Ming-shing, Hwang Weng-liang, Cheng Kuo-young. Analysis on multiresolution mosaic images [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(7): 952 ~ 959.
- Cheng Zheng-xing, Li Yong-gen. Numerical approximation and numerical solution of ordinary differential equation [M]. Xi'an: The Press of Xi'an Jiao Tong University, 2000: 42 ~ 57. [程正兴, 李永根. 数值逼近与常微分方程数值解[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000: 42 ~ 57.]
- Agarwala aseem, Dontecheva mira, Agrawala manees, et al. Interactive digital photomontage [A]. In: *Proceedings of SIGGRAPH [C]*, Los Angeles, CA, USA, 2004, 23: 292 ~ 300.
- Perez P, Gangnet M, Blake A. Poisson image editing [A]. In: *Proceedings of SIGGRAPH [C]*, San Diego, CA, USA, 2003, 22: 313 ~ 318.