

基于最大熵和局部优先度的裂痕唐卡分割

刘华明¹ 毕学慧¹ 王维兰² 王秀友¹

(1. 阜阳师范学院计算机与信息工程学院, 阜阳, 236000; 2. 西北民族大学数学与计算机科学学院, 兰州, 730030)

摘要: 为数字化修复唐卡文物, 需先解决破损区域分割问题。针对裂痕型唐卡破损区域破损程度不等, 与邻近区域颜色有反差的特点, 提出基于最大熵和局部优先度的算法。首先采用最大熵阈值法分割破损唐卡灰度图像, 去除伪破损区域, 得到破损程度较深区域; 然后采用本文提出的新算法——基于局部优先度的过渡区算法分割唐卡灰度图像, 去除伪破损区域, 得到破损区域的过渡区区域; 合并这两类区域得到最终的分割结果。实验结果表明本文算法不仅能对破损唐卡实现有效分割, 对壁画等其他破损图像也能很好分割。该算法具有一定的有效性和鲁棒性。

关键词: 图像分割; 破损区域分割; 局部优先度; 局部复杂度; 最大熵; 唐卡

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Segmentation of Rip Thangka Based on Maximum Entropy and Local Priority

Liu Huaming¹, Bi Xuehui¹, Wang Weilan², Wang Xiuyou¹

(1. School of Computer and Information Engineering, Fuyang Teachers College, Fuyang, 236000, China;

2. School of Mathematics and Computer Science, Northwest University for Nationalities, Lanzhou, 730030, China)

Abstract: To repair Thangka relic by digital technology, the damaged regions, which Thangka are segmented, must be solved firstly. The algorithm based on maximum entropy and local priority is proposed to segment damaged regions of rip Thangka, considering the extent of damaged features and color in contrast to neighboring regions. Firstly, the gray image of Thangka is segmented using maximum entropy algorithm. The false damaged regions are removed and the seriously damaged regions are obtained. Secondly, the gray image of Thangka is segmented by local priority algorithm, the false damaged regions are removed and the transition of the damaged regions are achieved. Finally, the serious damaged regions is combined with the transition of the damaged regions and the ultimate segmentation result is gained. Experimental results demonstrate that the proposed algorithm can not only segment damaged Thangka effectively, but also segment damaged murals etc, which shows the effectiveness and robustness of the proposed algorithm.

Key words: image segmentation; damaged regions segmentation; local priority; local complexity; maximum entropy; Thangka

引 言

唐卡是藏传佛教特有的一种绘画,保存过程中,因自然和人为因素造成了一定程度的损坏,因此对唐卡文化遗产的保护已引起重视。人工修复唐卡过程中的操作失误和修复过程的不可逆,导致修复结果破坏了原有的艺术魅力。利用计算机辅助进行唐卡的虚拟修复,可以反复试验且不对唐卡实物造成任何损坏,满意的修复结果还可以为人工修复提供一定的借鉴。对唐卡破损区域的精确分割是修复前提,也是一个亟待解决的难题。目前提出的图像分割方法多数是针对具体分割目标提出的。唐卡图像内容丰富,损伤原因多样,损伤的程度、位置、形状等不确定,已提出的绝大多数分割方法不能直接应用于唐卡。国内外学者对敦煌壁画、唐卡、国画等文物进行数字化修复时,分割破损区域大都采用手工标注^[1-3]和半自动分割方法^[4]。其他的分割方法^[5-6]对唐卡破损区域分割也提供了一定的借鉴。

针对裂痕型唐卡破损区域的特点,先采用最大熵阈值分割法得到破损程度较深、破损面积较大的区域,再采用局部优先度的过渡区分割法,获得破损区域的过渡区区域,合并以上分割结果完成裂痕型唐卡破损区域的分割。实验结果表明,分割效果较好。

1 相关工作

裂痕型唐卡破损的最明显特点是破损区域的色彩变淡,损伤程度和面积大小不一,且与图像中的其他部分非破损区域颜色非常相近。图 1(a)为典型的裂痕型唐卡图像。图中存在很多与破损区域相似的非破损区域,其颜色和破损区域极其相似。

利用 Sobel 算子求图 1(a)RGB 空间的各颜色分量梯度值,得到如图 1(b)所示的边界效果图。从图 1(b)可以看出,破损区域的边界模糊,这是由梯度值过小所致,因此仅利用图像中的边界信息并不能取得很好的分割效果。图 1(c)是对图 1(a)采用迭代法分割得到的结果,从中可以看出,破损程度较浅的区域,并未获得很好的分割,因此采用单一阈值分割法也不能取得理想的分割效果。

研究发现,唐卡破损区域内的像素灰度变化有一定的范围,与图像中的过渡区非常相似。过渡区是介于目标和背景之间的灰度变化频繁区域,具有一定的宽度,灰度一般介于目标灰度和背景灰度之间,且分布在目标周围^[7]。

过渡区分割法是一种介于区域和边界的方法,可以作为解决唐卡分割困难的一条途径。利用有效梯度^[7]提取图 1(a)的过渡区,得到其灰度图的 EAG(L)-L 曲线,即 EAGlow(L)-L 与 EAGhigh(L)-L,如图 2 所示。从中可以看出,唐卡图像的灰度变化范围较大,绝大多数像素都存在一定的梯度值。通过计算,可知两曲线最高点对应的像素值分别为 2 和 253,这意味着在图 1(a)的灰度图中,过渡区范围为 2~

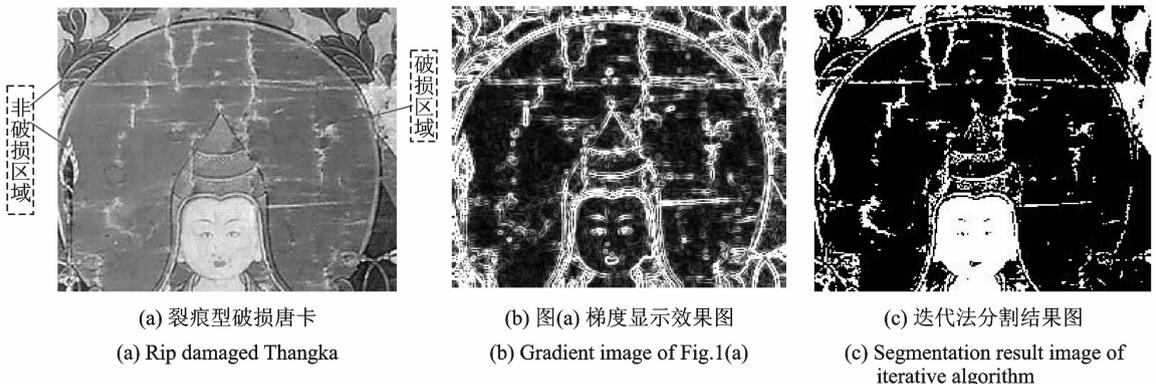


图 1 裂痕型唐卡图像
Fig. 1 Rip Thangka

253。图 1(a)的灰度直方图如图 3 所示,从中可知像素灰度范围为 2~253。综合图 2 和图 3,即认为整幅图像都是过渡区,因此根据过渡区内像素均值分割与利用图像的均值分割效果相当,说明此方法也不能很好地分割裂痕型唐卡。

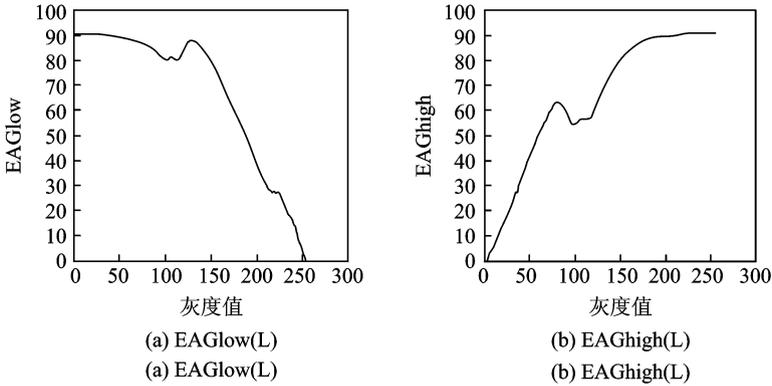


图 2 图 1(a)灰度图的 EAG(L)曲线

Fig. 2 EAG(L) curve of Fig. 1(a)

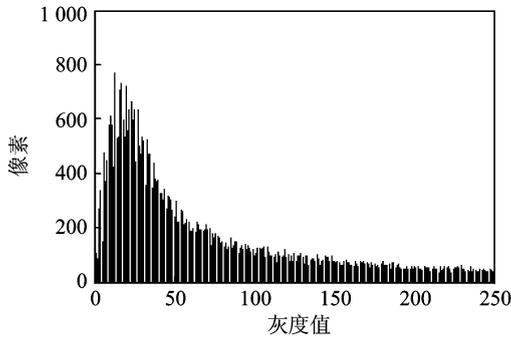


图 3 图 1(a)的灰度直方图

Fig. 3 Gray histogram of Fig. 1(a)

表 1 给出了不同范围的梯度值所包含的图像在整幅图像中所占的比例。从图 3 和表 1 可以看出,唐卡的灰度变化范围较大,图像中每个像素与周围像素灰度之间存在一定的差值,梯度小于等于 50 的像素点占整幅图像的 48.25%,接近图像的一半。因此利用过渡区分割图像必须采用针对唐卡破损区域特征的分割算法。

表 1 不同梯度范围内包含的图像范围

Table 1 Contain the scope of image in different gradient range

梯度范围	>0	>10	>20	>30	>40	>50	>60	>70	>80	>90	>100
图像范围/%	99.94	92.62	79.48	67.30	58.18	51.75	46.77	42.54	38.99	36.11	33.52

2 算法分析

2.1 最大熵阈值法

由于一维最大熵^[8]基于图像灰度直方图,仅利用了点灰度信息而未充分利用图像的空间信息,二维最大熵综合利用了点灰度特征和区域灰度特征^[9],从而较好地表征了图像的信息。它的基本方法

为:以原始灰度图像(L 个灰度级)中各像素及其4邻域的4个像素为一个区域,计算出区域灰度均值,这样原始图像中的每一个像素都对应于一个点灰度区域灰度均值对。设 $n_{i,j}$ 为图像中点灰度为 i 、区域灰度均值为 j 的像素个数, $P_{i,j}$ 为点灰度区域灰度均值对 (i,j) 发生的概率,则

$$P_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{N \times N} \quad (1)$$

式(1)中: $N \times N$ 为图像的大小。如果向量 (s,t) 是阈值向量,那么 (s,t) 把这个矩阵分割成4个象限,分别设为 A, B, C 和 D 。设 P_A 为 A 象限的概率总和, H_A 为象限 A 二维熵值, H_L 为全部所有像素的二维熵值^[9]。则二维最大熵的判别函数为

$$\varphi(s,t) = \log_2 [P_A(1 - P_A)] + \frac{H_A}{P_A} + \frac{H_L - H_A}{1 - P_A} \quad (2)$$

使 $\varphi(s,t)$ 取最大值的 s 和 t 即为所求阈值。其中

$$P_A = \sum_i \sum_j P_{i,j} \quad i=0,1,\dots,s; j=0,1,\dots,t \quad (3)$$

$$H_A = - \sum_i \sum_j P_{i,j} \log_2 P_{i,j} \quad i=0,1,\dots,s; j=0,1,\dots,t \quad (4)$$

$$H_L = - \sum_i \sum_j P_{i,j} \log_2 P_{i,j} \quad i=0,1,\dots,L-1; j=0,1,\dots,L-1 \quad (5)$$

图像的信息熵反映了图像的总体概貌,若图像中包含目标,则在目标与背景可分割的交界处信息量(即熵)最大。本文利用二维最大熵阈值法分割破损区域可以提取图像中破损程度较深、面积较大的区域。

2.2 基于局部优先度的过渡区分割

2.2.1 基于局部复杂度的过渡区分割

文献[10]对提出的一些过渡区分割算法作过分析评价:基于局部复杂度的过渡区分割算法的优点是分割质量、稳定性及抗噪性较好,缺点是耗时较长。

令 $f(i,j)$ 为一幅图像的灰度分布函数, $(i,j) \in S$, S 表示像素空间坐标的整数集合。图像的大小为 $M \times N$,具有256个灰度级,则图像的直方图可表示为

$$h(t) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \delta(t - f(i,j)) \quad (6)$$

式中: $t \in \{0,1,\dots,255\}$ 为灰度等级, $\delta(\cdot)$ 为单位冲击函数。

在统计灰度级变化时为避免将相同灰度的像素重复计数,定义如下标记函数

$$S_t(h(t)) = \begin{cases} 1 & h(t) \neq 0 \\ 0 & h(t) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

由此定义局部复杂度为

$$C_k = \sum_{t=0}^{255} S_t \quad (8)$$

该局部复杂度实际上是对图像范围内灰度级变化的一种统计,若用于大尺寸灰度图像时其统计意义不大,因而适合于统计图像的局部邻域内信息。在局部区域内(大小为 $M_k \times N_k$),当灰度级别较多时,该区域的复杂度较大,其值最大为 $M_k \times N_k$;当局部区域内的各像素灰度值相等时,复杂度最小,值为1。因此一个局部区域的复杂度越大,则其内的灰度分布层次越多,同质性越差,该区域越接近过渡区,反之则为目标或背景^[11]。由此可以设定合适的复杂度门限 T_k ,将大于该门限的像素提取出来,就可以得到原图像的过渡区。

2.2.2 改进的基于局部复杂度的过渡区分割

唐卡图像较为复杂,灰度变化范围较大。即使在目标或背景区域内,灰度变化仍有一定的范围,因

此在固定窗口内计算复杂度时,其值较大。对复杂度图像进行阈值分割时,提取的过渡区宽度较大,会出现过分割情况。考虑到目标或背景区域内部,灰度变化有一个较小的范围,计算出的复杂度较低,因此对局部复杂度的计算进行改进。

设 Ω_k 表示以像素 k 为中心的邻域, k 的灰度值为 g , 邻域的尺寸范围为 $M_k \times N_k$, 使用式(6)计算邻域内的灰度直方图 $h(t)$, 使用式(9)处理 $h(t)$, 得到 $h'(t)$

$$h'(t) = \begin{cases} 0 & |t - g| \leq Th \\ h(t) & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

式中: Th 为归一类阈值, $t \in \{0, 1, \dots, 255\}$ 。在统计灰度级别变化时,为避免将相同灰度的像素重复计数,定义标志函数

$$S_t(h'(t)) = \begin{cases} 1 & h'(t) \neq 0 \\ 0 & h'(t) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

由此定义局部区域内的复杂度

$$C_k(\Omega_k) = \sum_{t=0}^{255} S_t \quad (11)$$

式(9)的基本思想为:如果像素 k 的灰度值和 Ω_k 内其他像素的灰度值相差在 Th 范围内,则认为这些像素和 k 属于一类,为避免在式(10,11)中重复计算,把这些像素的统计值赋值为 0;其他和 k 不属于一类的像素,灰度统计值不变。与改进前相比,改进后的复杂度值会降低,这与 Th 有关。因此 Th 的设置较为重要,需要满足能够完整提取图像中的过渡区且过分割较少的要求,不能太大或太小。 Th 太大,较难完整地提取图像中的过渡区; Th 太小,则会出现较多的过分割。

2.2.3 基于局部优先度的过渡区分割

设 Ω_k 表示以像素 k 为中心的邻域,大小为 $M_k \times N_k$, Ω_k 内邻域灰度均值为

$$\overline{M}_k(\Omega_k) = \frac{1}{M_k \times N_k} \sum_{u=-M_k/2}^{M_k/2} \sum_{v=-N_k/2}^{N_k/2} f(i+u, j+v) \quad (12)$$

式中: $f(i, j)$ 为 Ω_k 内点 (i, j) 的灰度分布函数。

由此定义 Ω_k 内局部优先度 P_k

$$P_k = C_k T_k \quad (13)$$

$$T_k = \begin{cases} f_k(i, j) - \alpha * \overline{M}_K & f_k(i, j) - \alpha \overline{M}_K > 0 \\ 0 & f_k(i, j) - \alpha \overline{M}_K \leq 0 \end{cases} \quad (14)$$

其中 α 为权值,一般在 $[0.5, 0.95]$ 内取值,值越大,提取的像素点越少。

获取局部优先度后,利用阈值 $\text{segTh} = \beta P_{k_{\max}}$ 对局部优先度图像分割,得到过渡区分割结果。其中, $\beta P_{k_{\max}}$ 为局部优先度图像中的最大值, $\beta \in (0, 1)$, 值不能太大,太大提取的像素过少;也不能太小,太小过渡区提取过多。

3 分割过程和实验结果分析

3.1 分割步骤

分割裂痕型唐卡破损区域,采用二维最大熵和改进的基于局部优先度的过渡区分割算法。分割步骤如下。

步骤 1:利用二维最大熵阈值法分割破损唐卡灰度图,去除伪破损区域后,得到分割结果 1。

步骤 2:利用式(12)计算局部优先度的值,根据式(13)提取图像中的过渡区,去除伪破损区域后,得到分割结果 2。

步骤3:合并分割结果1和2,得到最终分割结果。

3.2 参数选择

本文算法包含4个参数,分别为块的大小 $N \times N$,归一类阈值 Th 以及权值 α 和 β 。对20幅图像进行实验,结果表明,这4个参数对分割效率均有影响。其中,块的大小为 5×5 时能够稳定地分割破损区域,因此文中实验取 $N \times N = 5 \times 5$; Th 与分割区域内的灰度差异度均值成正比,实验结果表明, Th 取值为分割区域内的灰度值与灰度均值之差绝对值的平均值除以8时分割效果较好; α 由非分割区域与分割区域的灰度均值比率确定,其值由算法自动获取; β 根据实际实验效果选取。块取值较大时, β 较大,当 $N \times N = 5 \times 5$ 时, β 一般稳定在 $[0.1, 0.3]$,另外 β 对 α 的确定有一定的影响。

图4是局部优先度分割程序流程图,通过调整 β 的取值和反复迭代达到最佳分割效果。

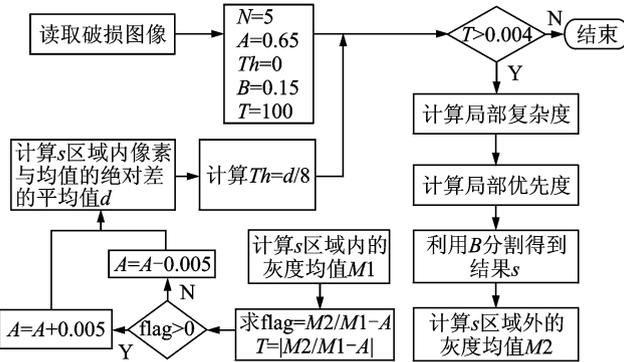


图4 图像分割流程图
Fig. 4 Flow chart of image segmentation

图4中, N 表示局部的大小为 $N \times N$, A 表示 α , B 表示 β , Th 表示归一类阈值, T 表示循环控制变量。最终的分割结果保存在分割结果 S 中。

3.3 实验结果分析

以图1(a)为分割对象,验证本文算法的有效性。实验取 $N \times N = 5 \times 5, \beta = 0.16, \alpha = 0.6405, Th = 7$ 。分割结果如图5所示,其中图5(a)是原破损图像,图5(b)是采用二维最大熵算法分割的结果,虽能较好地提取破损程度较深的区域,但对破损程度较浅的区域提取不理想;图5(c)是采用局部复杂度的过渡区算法^[11]分割的结果,虽提取出了破损区域,但不完整,某些破损区域出现了断裂,如图5(c)的箭头所示,原因是唐卡灰度图像复杂,提取的局部复杂度值偏大;图5(d)是采用局部优先度算法分割的结果,与图5(c)相比,分割结果保持了连续性,较为理想地提取了破损区域的过渡区;图5(e)是去除图5(c)中伪破损区域后与图5(b)的合并结果;图5(f)是去除图5(d)中伪破损区域后与图5(b)的合并结果。比较图5(e)和图5(f)可知,本文提出的分割算法可以实现对不同程度破损区域的分割。

为验证本文算法的有效性,与其他分割算法进行比较。分割结果如图6所示,其中图6(a)是原破损图像,图6(b)是采用本文算法分割的结果;图6(c)是采用FCM模糊聚类算法^[12]分割的结果;图6(d)是采用最小误差法^[13]分割的结果,图6(e)是采用基于组织粒子群^[14]分割的结果;图6(f)是采用一维最大熵阈值法^[15]分割的结果。与图6(a)对比,图6(c~f)都没有完整地提取出破损程度较浅的区域。比较可知,本文算法是比较理想的分割方法。

为验证本文算法的鲁棒性,采用本文算法分割其他一些破损唐卡,结果如图7所示。图7(b)和图7(d)分别为图7(a)和图7(c)的分割结果,从中可以看出本文算法能够有效地实现破损区域的分割。图

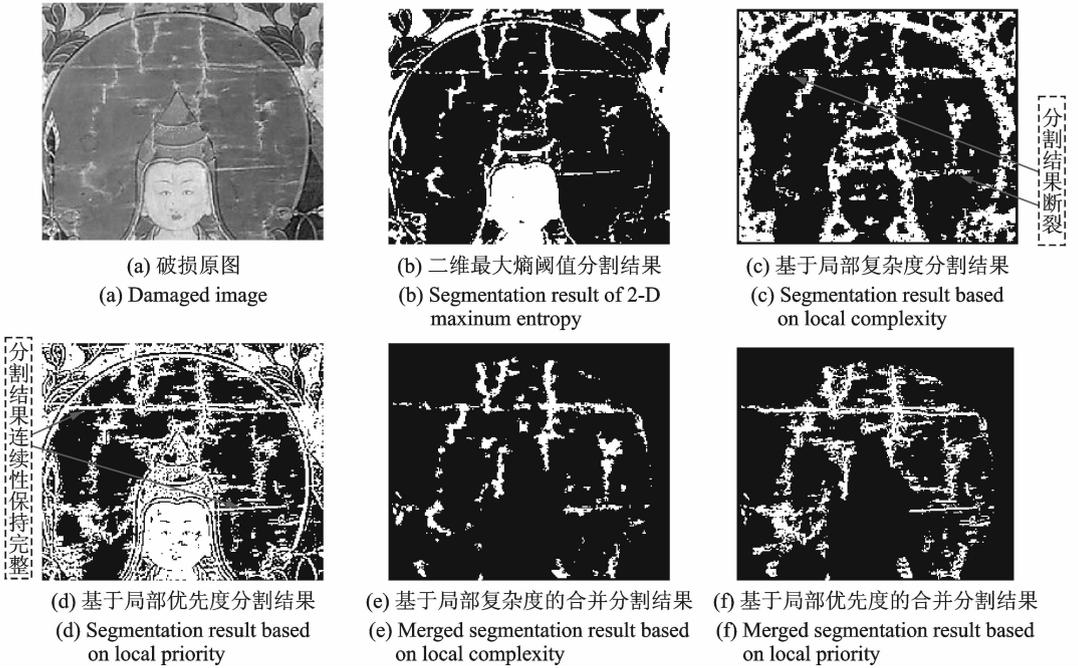


图 5 破损唐卡分割示意图

Fig. 5 Segmentation schematic of damaged Thangka

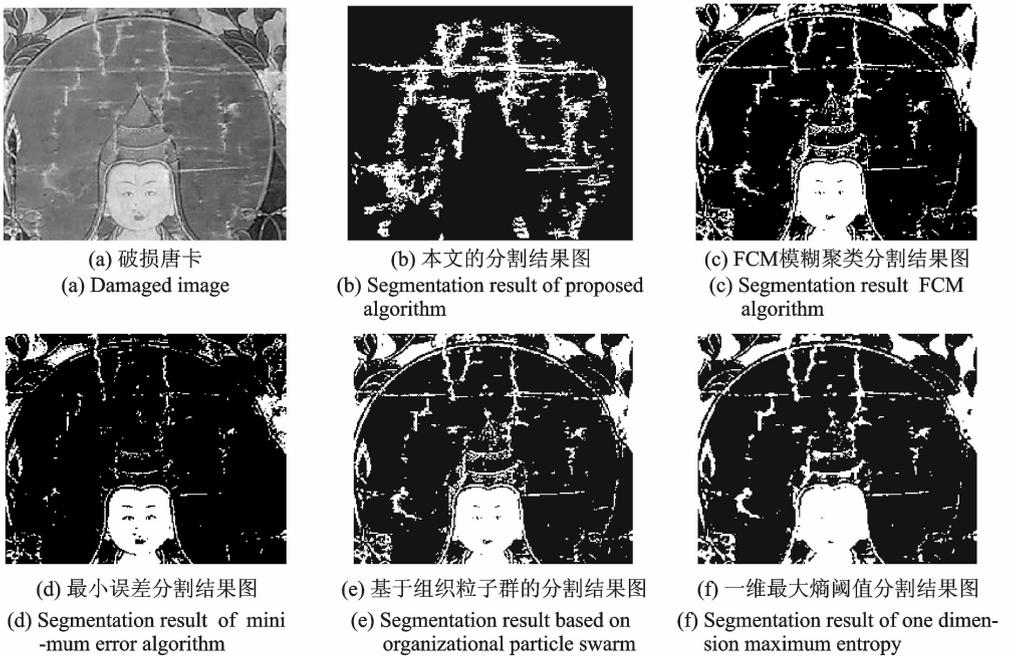


图 6 裂痕型唐卡破损区域分割对比示意图

Fig. 6 Segmentation schematic of rip Thangka

7(a)中, $N \times N = 5 \times 5, \beta = 0.2, \alpha = 0.74, Th = 4$; 图 7(b)中, $N \times N = 5 \times 5, \beta = 0.14, \alpha = 0.83, Th = 4$ 。

为验证本文算法的适用性与鲁棒性,对壁画图像进行分割。图 8(a)为破损壁画,实验中取 $N \times N = 5 \times 5, \beta = 0.2, \alpha = 0.575, Th = 9$ 。图 8(b)是本文算法分割的结果;图 8(c)是采用 FCM 模糊聚类算法^[12]分割的结果;图 8(d)是采用最小误差法^[13]分割的结果;图 8(e)是采用基于组织粒子群^[14]分割的结果;图 8(f)是采用一维最大熵阈值法^[15]分割的结果。通过比较可知,图 8(b)很好地提取了破损区域,较理想地完成了分割目标,图 8(c~f)没有完整地分割出破损程度较浅的过渡区。另外对其他破损壁画进行实验,图 9(b)和图 9(d)是对图 9(a)和图 9(c)采用本文算法分割的结果。从分割结果看,本文算法能实现对壁画破损区域较好分割。此外,本文算法还能对自然图像有效分割。

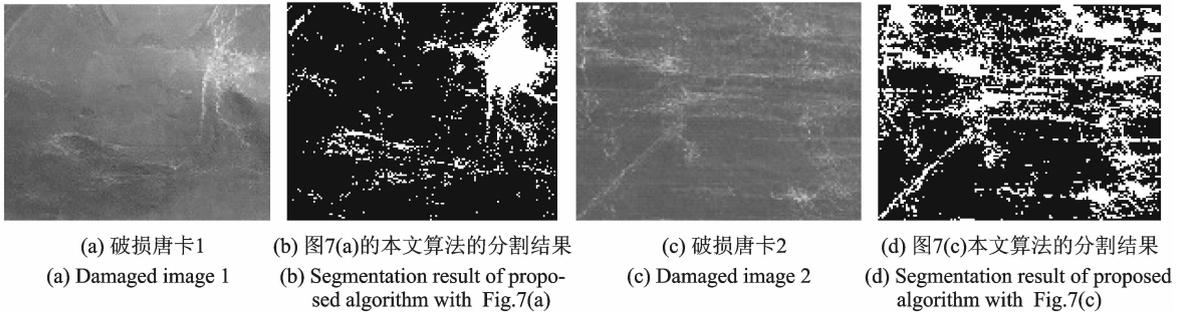


图 7 唐卡破损区域分割实例

Fig. 7 Example of damaged Thangka segmentation

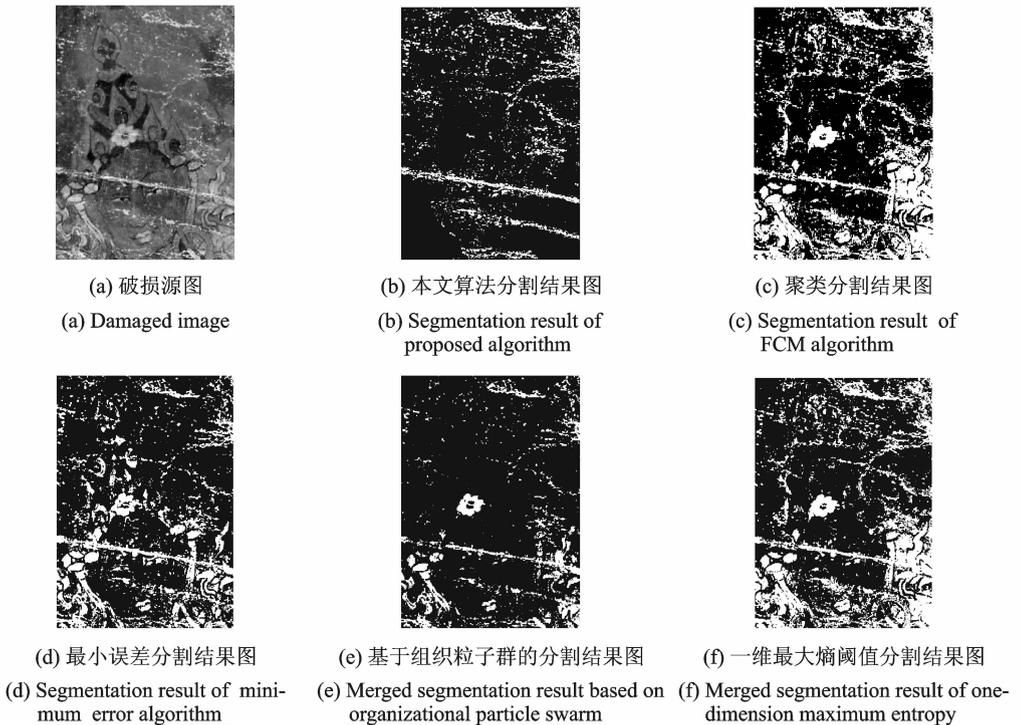


图 8 壁画破损区域分割结果对比示意图

Fig. 8 Contrast schematic of segmentation result for damaged mural

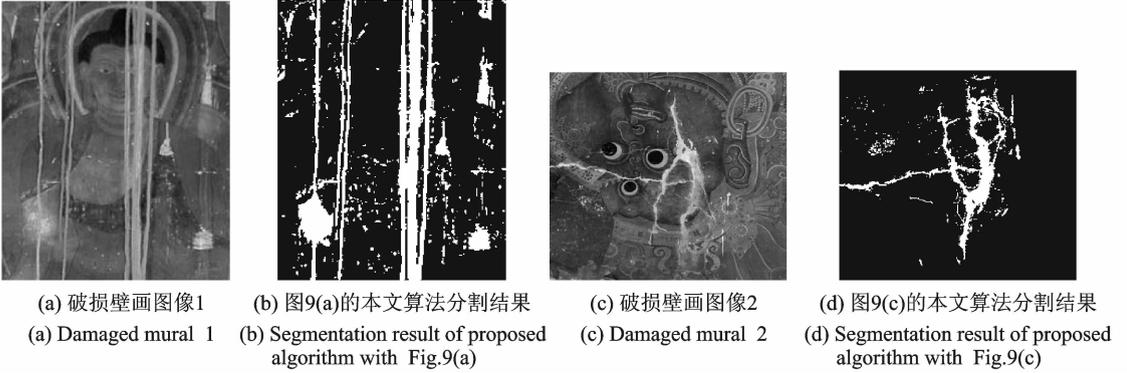
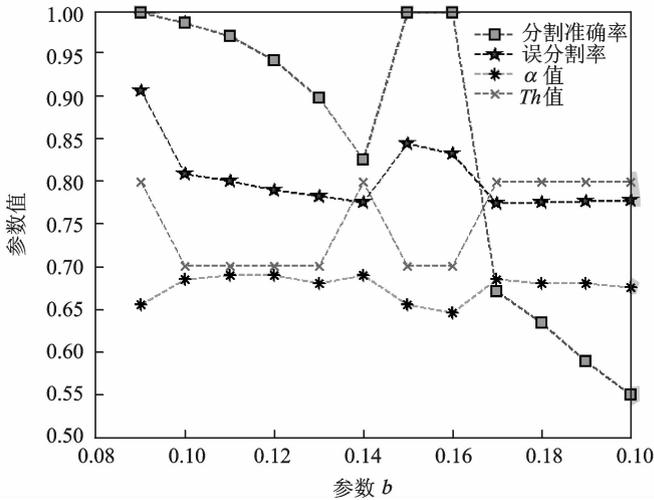


图9 壁画破损区域分割图

Fig. 9 Schematic of segmentation result for damaged mural

3.4 算法性能评价

为定量地评价本文算法,采用分割准确度和误分割率作为分割评价准则。本文将分割获得区域记为 P_1 ,人工分割后获得的区域记为 P_2 , $\text{count}(P)$ 表示区域 P 中像素的总数,分割准确度 $F = \left(\frac{\text{count}(P_1 \cap P_2)}{\text{count}(P_2)} \right) \%$,误分割率 $G = \left(\frac{\text{count}(P_1 - P_1 \cap P_2)}{\text{count}(P_1)} \right) \%$ 。对图 1(a)采用人工分割作为算法分割的衡量标准, $\beta \in [0.09, 0.2]$, β 的变化会引起 α , Th , F 和 G 的变化,如图 10 所示。其中 Th 为真实值的 $1/10$, $N \times N = 5 \times 5$,从图 10 中可以看出, $\beta = 0.16$ 时能够完全分割出破损区域并且误分割率最低,此时 $Th = 7$,从 Th 的整个变化趋势看,稳定在 $7 \sim 8$ 之间。 $\alpha \in (0.62, 0.7)$,变化幅度不大。分割破损区域时,只需调整 β 满足分割目标即可。算法使用方便,具有一定的适应性。

图10 分割准确率、误分割率、 α 值和 Th 值随 β 值的变化示意图Fig. 10 Schematic that segmentation accuracy, error segmentation rate, α and Th values change with β value

4 结束语

针对裂痕型唐卡破损区域的特点,本文提出了一种有效的算法,可以较为理想地完成不同程度破损

区域的分割。由于唐卡破损形式多样,一幅图像中可能同时存在裂痕、褪色、折痕等多种破损类型,针对此情形,本文提出的算法有时并不能很好地完成分割,这有待进一步优化和探索。本文的研究成果可以应用到其他领域的图像分割,例如壁画、自然图像等。

参考文献:

- [1] 刘华明,毕学慧. 唐卡褪色区域分割[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(2): 241-247.
Liu Huaming, Bi Xuehui. Segmentation of faded regions in Thangka images[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2013, 25(2): 241-247.
- [2] Liu Huaming, Wang Weilan, Xie Hui. Thangka image inpainting using adjacent information of broken area[C]//The International Multiconference of Engineers and Computer Scientists. HongKong, China: Newswood Limited, 2008: 646-649.
- [3] Criminisi A, Perez P, Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(9): 1200-1212.
- [4] 魏宝刚, 鲁东明, 潘云鹤, 等. 多颜色空间上的交互式图像分割[J]. 计算机学报, 2001, 24(7): 770-775.
Wei Baogang, Lu Dongming, Pan Yunhe, et al. Interactive image segmentation using multiple color spaces [J]. Chinese Journal of Computers, 2001, 24(7): 770-775.
- [5] 吴德煌, 刘伟, 赖凯, 等. 基于改进 Random Walk 算法的磁共振图像脑组织分割[J]. 数据采集与处理, 2011, 26(2): 194-199.
Wu Dehuang, Liu Wei, Lai Kai, et al. MRI brain tissue segmentation based on improved random walk algorithm[J]. Data Acquisition and Processing, 2011, 26(2): 194-199.
- [6] Wang Min, Qiao Lishan. New method for white blood cell detection relevance vector machine [J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2010, 27(3): 267-274.
- [7] 章毓晋. 过渡区和图象分割[J]. 电子学报, 1996, 24(1): 12-17.
Zhang Yujin. Transition region and image segmentation [J]. Acta Electronica Sinica, 1996, 24(1): 12-17.
- [8] 石殿国, 桂顶风. 基于信息熵图像分割算法的若干改进[J]. 软件导刊, 2009, 8(8): 56-58.
Shi Dianguo, Gui Yufeng. Several improved algorithm of image segmentation based on information entropy[J]. Software Guide, 2009, 8(8): 56-58.
- [9] 潘喆, 吴一全. 二维指数熵图像阈值选取方法及其快速算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(4): 982-985.
Pan Zhe, Wu Yiquan. Method of thresholding using two-dimensional exponent entropy and its fast algorithm[J]. Computer Applications, 2007, 27(4): 982-985.
- [10] 闫成新, 桑农, 张天序. 图像过渡区提取与分割算法评价[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(8): 60-63.
Yan Chengxin, Sang Nong, Zhang Tianxu. Evaluation on transition region extraction based image segmentation[J]. Computer Engineering and Applications, 2005, 41(8): 60-63.
- [11] 闫成新, 桑农, 张天序, 等. 基于局部复杂度的图像过渡区提取与分割[J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(4): 312-316.
Yan Chengxin, Sang Nong, Zhang Tianxu, et al. Image transition region extraction and segmentation based on local complexity [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2005, 24(4): 312-316.
- [12] Bezdek J. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms[M]. New York: Plenum Press, 1981: 155-201.
- [13] 秦襄培. Matlab 图像处理与界面编程宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 456-457.
Qin Xiangpei. Matlab image processing and interface programming book[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009: 456-457.
- [14] 周晓伟, 葛永慧. 基于粒子群优化算法的最大类间方差多阈值图像分割[J]. 测绘科学, 2010, 35(2): 88-89, 122.
Zhou Xiaowei, Ge Yonghui. Multilevel threshold method for image segmentation based on particle swarm optimization and maximal variance[J]. Science of Surveying and Mapping, 2010, 35(2): 88-89, 122.
- [15] 葛启承, 林锦国, 肖迪. 基于信息熵的图像阈值选取算法[J]. 江苏科技大学学报, 2010, 24(5): 485-488.
Ge Qicheng, Lin Jinguo, Xiao Di. Algorithm of image thresholding based on information entropy[J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology, 2010, 24(5): 485-488.

作者简介: 刘华明(1981-), 男, 讲师, 研究方向: 图像处理、模式识别, E-mail: liuhuaming888@126.com; 毕学慧(1982-), 女, 讲师, 研究方向: 计算机应用; 王维兰(1961-), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向: 图像处理、模式识别; 王秀友(1975-), 男, 副教授, 研究方向: 计算机算法设计与分析、图形图像处理。

