

## 基于优先权和匹配度量的图像修复算法

吴翠鸿<sup>1</sup>, 强彦<sup>2</sup>

(1.山西水利职业技术学院 信息工程系, 运城 044004;

2.太原理工大学 计算机科学与技术学院, 太原 030024)

**摘要:** **目的** 针对当前图像修复算法主要通过固定单一模板大小实现修复块与匹配块之间的匹配度量来完成图像复原, 导致其存在一定的模糊效应以及振铃效应等不足, 这里提出基于改进优先权和匹配优化度量的图像修复算法。 **方法** 首先, 利用数据项构造平滑因子, 建立优先权模型, 度量待修复像素点的优先权, 选定优先修复块。然后, 制定四级模板大小, 利用误差平方和函数, 结合模板大小特性, 构造匹配度量模型, 用于实现修复块和匹配块之间的动态匹配, 选取最优匹配模板, 对待修复块进行填充修复。最后, 利用待修复像素点及其邻域像素点的灰度值构造邻域灰度差分模型, 用于对修复区域的边缘进行缝合, 优化修复效果。利用最优匹配度量结果, 构造置信度更新模型, 对置信度项进行更新, 实现图像修复。 **结果** 仿真实验结果显示, 与当前图像修复算法相比, 所提算法具有更高的修复质量, 其输出图像无模糊效应与振铃效应。 **结论** 所提算法能够较好地损坏图像进行复原, 在图像信息处理领域具有一定的参考价值。

**关键词:** 图像修复; 平滑因子; 优先权; 置信度更新; 匹配度量; 邻域灰度差分

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)21-0189-09

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.21.034

## Image Inpainting Algorithm Based on Priority and Matching Measurement

WU Cui-hong<sup>1</sup>, QIANG Yan<sup>2</sup>

(1.Department of Information Engineering, Shanxi Conservancy Technical Institute, Yuncheng 044004, China;

2.College of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**ABSTRACT:** The work aims to propose an image inpainting algorithm based on priority improvement and matching optimization measurement, with respect to the problem that the current image inpainting algorithm achieves the matching measurement between repair block and matching block to complete the image restoration mainly by the fixed single template size, thus causing such deficiencies as certain blurring effect and ringing effect. First, the smoothing factor was constructed by the data item, the priority model was established to measure the priority of the pixel to be repaired, and the priority repair block was selected. Then, the four level template size was formulated. By means of square error and functions, combined with the template size characteristics, the matching measurement model was constructed to achieve the dynamic matching of repair block and matching block. The best matching template was selected to fill and restore the block to be repaired. Finally, the neighborhood gray differential model was constructed by the gray of the pixels to be restored and their neighborhood pixels, which could be used to stitch the edges of the repaired region and optimize the restoration effect. With the best matching measure, a confidence updating model was constructed to update the confidence item and realize the image restoration. The simulation results showed that, compared with the current image inpainting algorithm, the proposed algorithm had higher inpainting quality, and its output image was subject to no blurring effect and ringing effect. The proposed algorithm can better restore the damaged image and it has certain reference value in the field of image information processing.

收稿日期: 2017-12-04

基金项目: 国家自然科学基金(61371193); 山西省自然科学基金(2013011019-1)

作者简介: 吴翠鸿(1980—), 女, 硕士, 山西水利职业技术学院讲师, 主要研究方向为图像处理、信息安全、计算机应用。

**KEY WORDS:** image inpainting; smoothing factor; priority; confidence update; matching measurement; neighborhood gray differential

图像修复是指通过一定的算法手段,利用图像的已知信息对损坏信息进行修复的技术<sup>[1-2]</sup>。目前图像修复技术在考古研究、遥感探测、成像设备制造等技术领域具有重要的研究意义及应用价值<sup>[3]</sup>。

近年来图像修复技术得到了快速的发展,当下也出现了较多的图像修复算法。如 Li<sup>[4]</sup>等通过对 TV 模型与进化算法进行研究,提出了一种基于 TV 模型和进化算法的图像修复方法,利用损坏区域像素与其邻域像素的距离与方向来计算扩散系数,利用进化算法来优化样本块完成复原,实验结果表明,该方法具有一定的图像修复效果,但是该方法对于大面积损坏图像修复时,存在一定的不连续效应等。又如:LI<sup>[5]</sup>等对传统的 Criminisi 算法进行研究,提出了一种基于 Criminisi 和边缘结构的图像修复算法的研究,利用 Criminisi 算法获取优先修复块,进而利用图像的边缘结构信息完成图像的修复,实验结果表明,该方法能够对损坏图像进行修复,但是修复的图像中存在一定的模糊效应等。张东<sup>[6]</sup>等为了克服传统的图像修复算法在结构和纹理边界的错误修复,利用小波变换域的系数特征,探讨了一种基于小波变换与纹理合成相结合的修复算法,利用小波变换将待修复图像分解成具有不同分辨率的低频子图和高频子图,然后根据不同子图各自的特征分别进行修复,实验结果显示,该方法能够提升修复图像的视觉效果,但是该方法计算复杂度较高,导致算法效率以及鲁棒性不佳。屠昕<sup>[7]</sup>等为了提高算法的修复效率,提出了一种基于分水岭分割的快速图像修复算法的研究,针对传统算法在修复速度上的不足,采用改进的匹配区域搜索方法以缩小搜索区域,然后通过分水岭分割结果筛选匹配块以进一步加速图像修复,最后利用分水岭分割结果提出了新的分类修复方法完成图像修复,实验结果表明,该方法的修复速度具有明显的提升,但是修复图像中存在一定的振铃效应。

## 1 文中图像修复算法

文中图像修复算法的过程见图 1。从图 1 中可见,文中算法在选取优先修复块时,通过数据项构造平滑因子,并利用平滑因子建立优先权模型,继而从待修复区域中选取优先修复块,克服了数据项为 0 时造成的优先权度量失效的弊端,提高了算法的鲁棒性能以及修复质量。利用制定的四级模板大小,以及通过误差平方和模型构造的匹配度量模型,对待修复块以及匹配块进行动态匹配,选取具有最佳匹配效果的匹配块作为最优匹配模板,对待修复块进行复制填充,

克服了块效应以及模糊效应等的产生,进一步提高了算法的修复质量。为了进一步对填充修复区域的边缘进行平滑优化,利用像素点灰度值构造了邻域灰度差分模型,对修复区域进行优化,避免了修复图像中不连续效应等的出现,提高了算法修复图像的视觉效果。引入最优匹配度量结果,构造置信度更新模型,对置信度项更新,进一步保证修复顺序的合理进行。

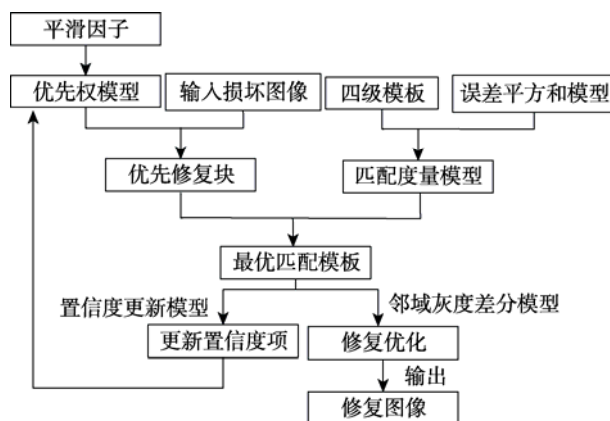


图 1 文中图像修复算法过程

Fig.1 Process of image restoration algorithm in this paper

### 1.1 选取优先修复块

对于一幅损坏区域为  $\Omega$ , 已知区域为  $\beta$  的图像  $I$ , 其常用的优先级度量函数为<sup>[8-9]</sup>:

$$P(t) = D(t) \cdot C(t) \quad (1)$$

式中:  $t$  为已知区域与损坏区域交界处  $\partial\Omega$  上的一个待修复像素点,  $C(t)$  与  $D(t)$  分别为置信度项和数据项。 $C(t)$  反映了待修复块中所含已知信息的比重, 其值越大表示对应的待修复块优先级越高<sup>[10]</sup>。 $D(t)$  反映了待修复块的结构强度, 其值越大表示待修复块结构强度越大, 应给予优先修复。 $C(t)$  与  $D(t)$  的表达式如下<sup>[11]</sup>:

$$C(t) = \frac{\sum_{r \in \psi_t \cap \beta} C(r)}{|\psi_t|} \quad (2)$$

$$D(t) = \frac{|\nabla I_t^\perp \cdot \mathbf{n}_t|}{\delta} \quad (3)$$

式中:  $\psi_t$  为以待修复像素点  $t$  为中心待修复块,  $\nabla I_t^\perp$  和  $\mathbf{n}_t$  分别为  $t$  处的边缘梯度向量以及梯度法向量。 $\delta$  为归一化算子, 不失一般性取值为 255<sup>[12]</sup>。

当数据项中的边缘梯度向量  $\nabla I_t^\perp$  以及梯度法向量  $\mathbf{n}_t$  处于垂直关系时, 将导致数据项  $D(t)$  为 0<sup>[13]</sup>。

通过式 (1) 可见, 此时优先权度量值恒为 0, 导致优先权度量失效。为了克服该项不足, 在此以数据项为基础构造如下平滑因子:

$$PD(t) = \varepsilon + (1 - \varepsilon)D(t) \quad (4)$$

式中:  $\varepsilon$  为平滑系数。

随着修复的不断深入, 待修复块中所包含的已知信息势必会急速下降, 使得置信度项  $C(t)$  变得趋向于零, 导致优先权度量结果信度下降<sup>[14]</sup>。为了避免该现象的出现, 在此通过系数配比的方法构造如下优

先权模型:

$$PP(t) = \alpha C(t) + \gamma PD(t) \quad (5)$$

式中:  $\alpha$  和  $\gamma$  为配比系数。

利用式 (5) 代替式 (1) 对待修复像素点的优先级进行度量, 选取最大度量值对应的待修复块作为优先修复块。

以与图 2a 为例, 对其施加 17% 的遮蔽损坏, 形成待修复图像, 见图 2b; 再取  $\varepsilon=0.7$ ,  $\alpha=0.35$ ,  $\gamma=0.65$ , 根据上述过程, 确定的待修复块见图 2c。

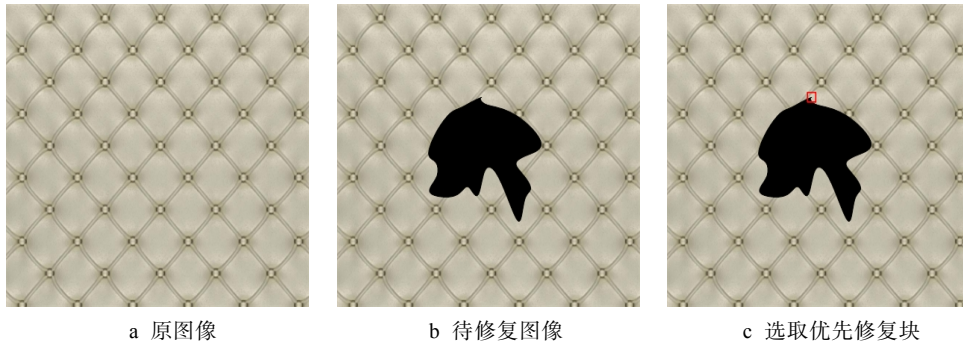


图 2 选取优先修复块示意

Fig.2 Select a sketch map of the priority repair block

## 1.2 获取最优匹配模板

利用较大模板的修复块以及匹配块来搜索最优匹配模板有助于提高算法的计算效率, 但是在图像纹理结构较为复杂的地方容易产生不连续效应以及模糊效应等。利用较小模板的图像块来搜索最优匹配模板, 可以有效克服不连续效应等的产生, 但是计算量较大<sup>[15-16]</sup>。对此, 文中通过制定 4 级模板大小, 利用误差平方和模型结合模板大小特性, 构造匹配度量模型, 利用该模型通过动态匹配的方法选取具有最佳匹配效果的最优匹配模板。

首先, 根据先验知识将图像块的模板大小以 2 为步长, 从大小为  $3 \times 3$  开始, 设定四级模板大小:  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ ,  $9 \times 9$ , 设定的 4 级模板成嵌套关系, 见图 3, 其中  $t$  为待修复块的中心像素点,  $p$  为匹配块的中心像素点。

然后, 为了适应模板大小的变化, 利用误差平方和模型结合模板大小特性, 构造匹配度量模型。误差平方和模型表述如下<sup>[17]</sup>:

$$SSD(\psi_t, \psi_p) = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=\psi_t} \sum_{j=1}^{j=\psi_p} \left[ (t_i^R - p_j^R)^2 + (t_i^G - p_j^G)^2 + (t_i^B - p_j^B)^2 \right]} \quad (6)$$

式中:  $t_i^x, p_j^x$  ( $x = R, G, B$ ) 分别为待修复块  $\psi_t$  中以及匹配块  $\psi_p$  中像素点的  $R, G, B$  分量值。

将模板大小特征引入式 (6), 可得构造的匹配度量模型:

$$d(\psi_t, \psi_p) = \frac{SSD(\psi_t, \psi_p)}{|\psi_p| \log B} \quad (7)$$

式中:  $|\psi_p|$  为匹配块  $\psi_p$  中已知像素数量;  $B$  为当前所用模板大小。

最后, 按照 4 级模板中从小到大的顺序, 依次设定待修复块以及匹配块的大小。并每次设定大小后都用匹配度量模型测量图像块的匹配度。由此动态的实现待修复块以及匹配块的动态匹配度量。选取最优匹配度量结果对应的匹配块作为最优匹配模板。

$$\psi'_p = \arg \min_{\psi_p \in \beta} d(\psi_t, \psi'_p) \quad (8)$$

由于 4 级模板成嵌套关系, 因此每次当模板扩大一级计算时, 都只需对扩大的增量进行计算。由此可降低算法的计算复杂度, 提高算法的效率。

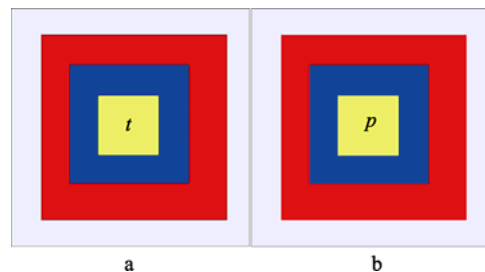


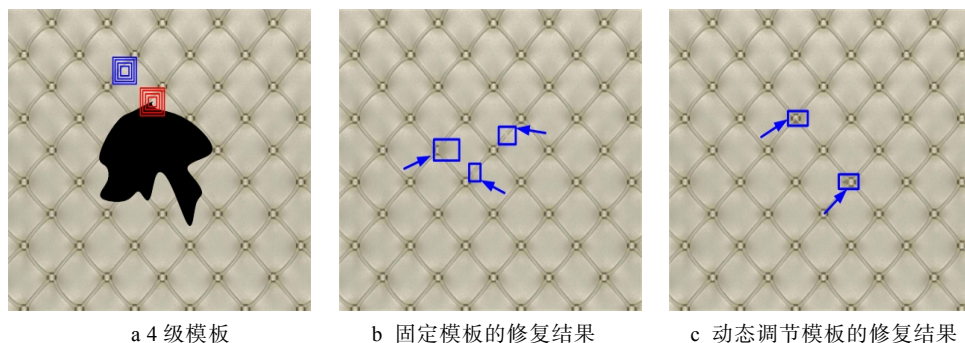
图 3 4 级模板的过程

Fig.3 Process of four stage formwork

以图 2c 为例, 根据上述过程, 得到的 4 级模板见图 4a。从图 4 可见, 由于图 4 中待修复块中存在纹理变换较大的情况, 所以采用  $3 \times 3$  模板较为合适。随后, 再利用文中设计的 4 级模板, 以及固定模板对图 2b 完

成修复,结果见图 4b 与图 4c。依图 4c 可知,通过利用 4 级模板来动态修复损坏图像,可以显著提高修复质

量,只是存在轻微的块效应;而固定模板的修复结果不佳,存在不连续以及模糊效应,见图 4b。



a 4 级模板

b 固定模板的修复结果

c 动态调节模板的修复结果

图 4 不同模板大小下对图 2b 的修复结果

Fig.4 Repair results of Figure 2b under different template sizes

### 1.3 修复优化

当获取到最优匹配模板后,可将最优匹配模板复制填充至待修复块区域,对图像进行修复。为了对修复区域的边缘进行缝合,实现对修复结果的优化,克服修复图像中易产生的块效应以及不连续效应的不足<sup>[18]</sup>,文中利用像素点的灰度值构造邻域灰度差分模型,对修复区域进行优化,以提高算法的修复质量。

令  $t(i, j)$  为修复块的一个边缘像素点,  $t_1(i-1, j)$ ,  $t_2(i+1, j)$ ,  $t_3(i, j-1)$ ,  $t_4(i, j+1)$  为  $t(i, j)$  邻域内的 4 个相邻像素点, 见图 5。像素点  $t(i, j)$  及其相邻的 4 个像素点对应的灰度值分别为  $p(i, j)$ ,  $p(i-1, j)$ ,  $p(i+1, j)$ ,  $p(i, j-1)$ ,  $p(i, j+1)$ 。则可构造  $t(i, j)$  点的灰度有限差分模型:

$$\Delta p(i, j) = p(i-1, j) + p(i+1, j) + p(i, j-1) + p(i, j+1) - 4p(i, j) \quad (9)$$

通过式 (9) 求取边缘像素点的灰度有限差分值后,再利用灰度有限差分值构造邻域灰度差分模型:

$$\bar{p}(i, j) = p(i, j) + \frac{\Delta p(i, j)}{4} \quad (10)$$

通过式 (10) 对边缘像素点的灰度进行优化,以达到对修复区域边缘缝合的效果,使得修复图像达到灰度和谐、边缘平滑的效果。以图 4c 为对象,利用上述修复优化过程,输出的复原图像见 6。依图 6 可知,经过邻域灰度差分模型的优化后,修复质量进一步提升,消除了块效应。

### 1.4 置信度更新

当待修复块得到修复后,其包含的未知像素点将转化为已知像素点<sup>[19-20]</sup>。为了对未知像素点将转化为已知像素点过程中产生的误差进行修正,文中将引入最优匹配度量结果,构造置信度更新模型,对置信度项更新,进一步保证修复顺序的合理进行。

从式 (8) 可见,当最优匹配模板为匹配块  $\psi'_p$  时,最优匹配度量结果就为  $d(\psi_t, \psi'_p)$ 。将  $d(\psi_t, \psi'_p)$  作为

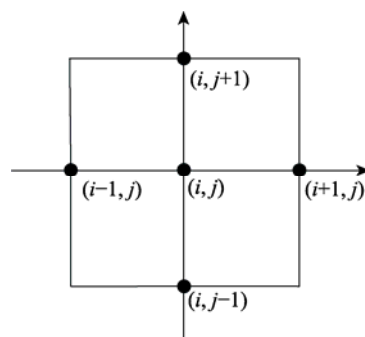


图 5 边缘像素点的优化过程

Fig.5 Optimization of edge pixels

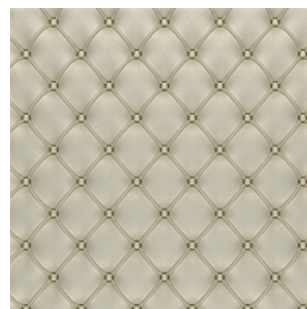


图 6 图 4b 的优化修复结果

Fig.6 Figure 4b after optimization results

调节因子,构造置信度更新模型:

$$C(t') = e^{-d(\psi_t, \psi'_p)} C(t) \quad (11)$$

通过式 (11) 可对置信度进行更新。

## 2 仿真实验与分析

为了对文中所设计图像修复算法的修复性能进行测试,文中将 Matlab 2012a 软件作为仿真工具,在操作系统为 Windows 7,硬件平台为 Intel i5 3.2 GHz 双核处理器、500 GB 硬盘、4 GB 内存的 PC 机上进行仿真实验。实验中将文献[21]、文献[22]和文献[23]中的算法作为对照组。文中算法所涉及的主要参数设置为  $\varepsilon=0.7$ ,  $\alpha=0.35$ ,  $\gamma=0.65$ 。



## 2.1 损坏图像的修复效果分析

文中算法和对照组算法对损坏灰度图像的修复效果见图 7。从图 7 可见，4 种算法的修复效果都还好。将文中算法的修复图像（见图 7f）与文献[21]算法的修复图像（见图 7c），以及文献[22]算法的修复图像（见图 7d）和文献[23]算法的修复图像（见图 7e）进行对比可见，图 7c 中存在一定的修复残留效应以及块效应，图 7d 中存在一定的模糊效应以及不连续效应，图 7e 中存在一定的修复不完全效应。图 7f 中不存在这些不良效应。说明文中算法修复的图像具有更好的质量。文中算法和对照组算法对损坏彩色图像的修复效果见图 8。从图 8 可见，文中算法的修复图像（见图 8i）与文献[21]算法的修复图像（见图 8c），以及文献[22]算法的修复图像（见图 8e）与文献[23]算法的修复图像（见图 8g）都具有较好的效果。将不同算法的修复结果进行放大对比可见，文献[21]算法的修复结果放大图（见图 8d）中存在一定的残留效应以及不连续效应，文献[22]算法的修复结果放大图（见图 8f）中存在一定的振铃效应以及模糊效应，文献[23]算法的修复结果放大图（见图 8h）中存在轻微的模糊效应，文中算法的修复结果放大图（见图 8j）中不存在此类效应。

为了体现不同算法对复杂纹理结构图像的修复效果，以图 9a 为对象，利用文中算法与其他 3 种对照组技术对其完成修复，结果见图 9b—j。从图 9 可见，文献[21]算法的修复结果中存在一定的振铃以及不连续效应，见图 9d。文献[22]算法的修复结果中存在一定的模糊以及不连续效应，见图 9f。文献[23]算

法的修复结果中存在一定的模糊效应，见图 9h。文中算法的修复结果中仅存在轻微的修复残留效应，见图 9j。说明文中算法不仅具有良好的修复性能而且还具有较好的鲁棒性能。因为文中采用了数据项构造平滑因子，并利用平滑因子建立优先权模型，继而从待修复区域中选取优先修复块，克服了数据项为 0 时造成的优先权度量失效的弊端，以及置信度项急速下降导致优先级度量信度降低的不足，提高了算法的鲁棒性能以及修复质量。同时文中还利用像素点灰度值构造了邻域灰度差分模型，对修复区域进行优化，避免了修复图像中不连续效应等的出现，进一步提高了算法修复图像的视觉效果。文献[21]算法中将局部结构乘法器融入优先修复块的判定中，接着联合图像的色彩特征以及空间特征，对图像块中像素点的平均像素差异值进行计算来获取最优匹配块，完成图像修复，由于该方法还是沿用传统的置信度更新方法，没有较好地对未知像素点将转化为已知像素点过程中产生的误差进行修正，导致修复图像中存在不连续效应。文献[22]算法中通过将图像进行深度分层，通过对分层后图像的前景与背景像素进行处理进而完成修复，由于该方法没有对各个层次间的图像进行耦合处理，使得修复图像中存在块效应等。文献[23]算法中利用全变分方法对分解得到的高频方向子带进行修复，利用曲率驱动扩散方法对分解得到的低频方向子带进行修复，最后通过小波逆变换实现图像修复，由于全变分方法不能较好地保持图像的纹理信息，难以适应大面积破损图像的修复，导致修复图像的质量有所下降，使其存在模糊效应。

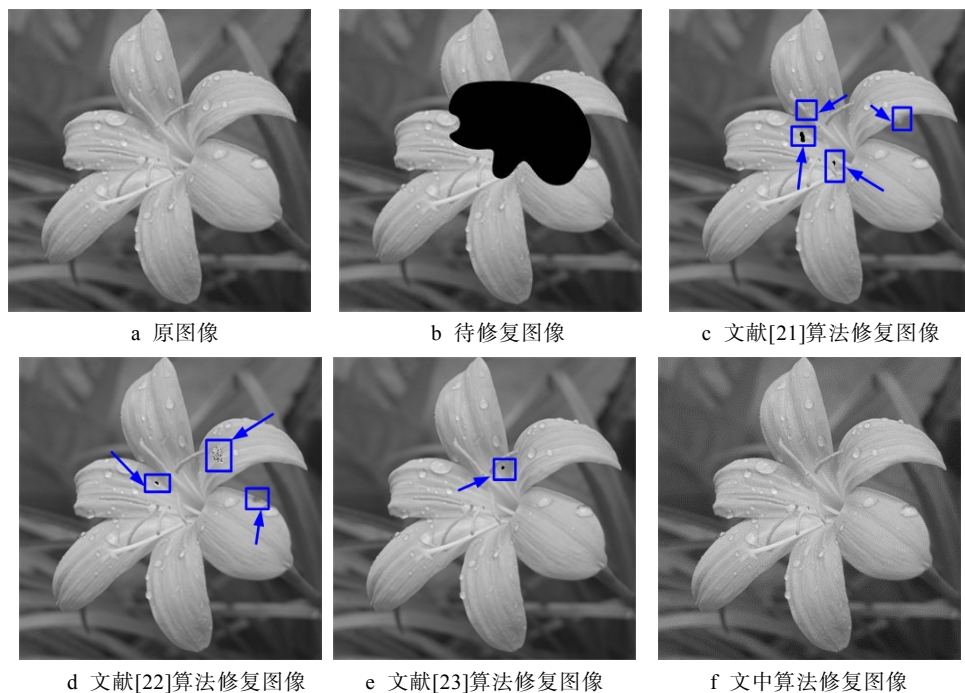


图 7 4 种算法对损坏灰度图像的修复效果

Fig.7 Repair effect of four algorithms on damaged gray image

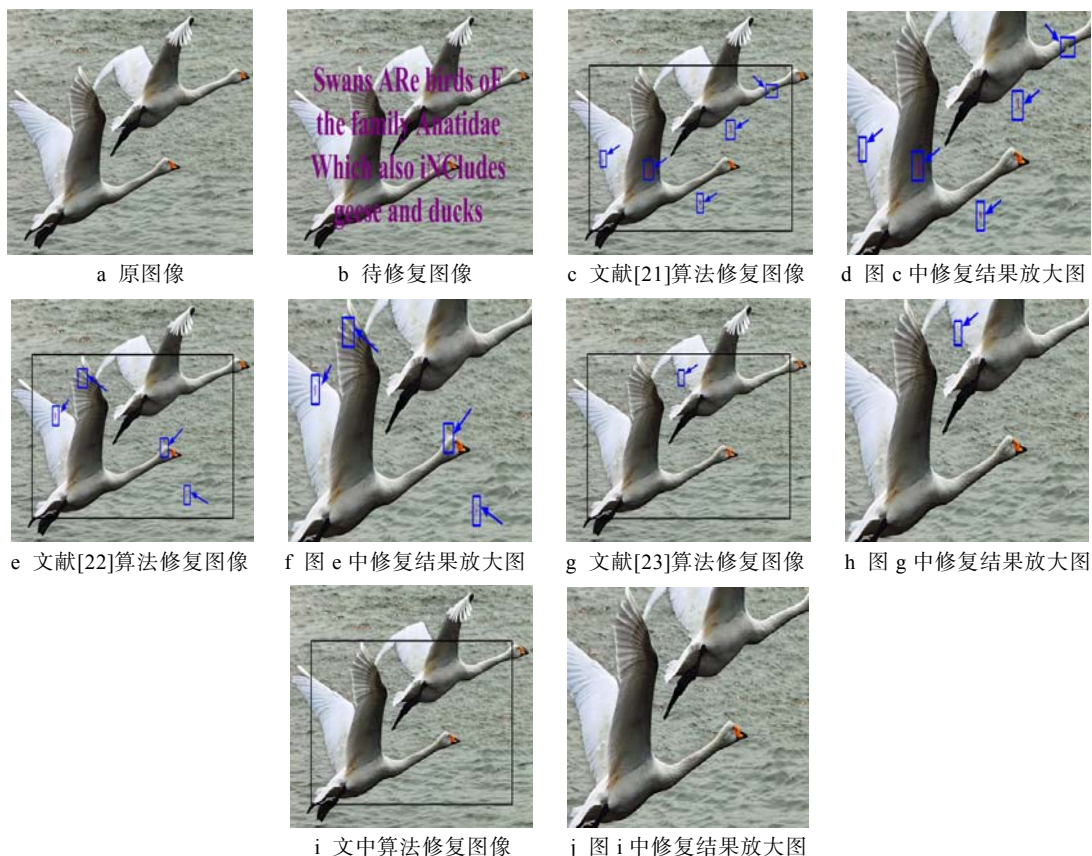


图 8 4 种算法对损坏彩色图像的修复效果

Fig.8 Repair effect of four algorithms on damaged color images

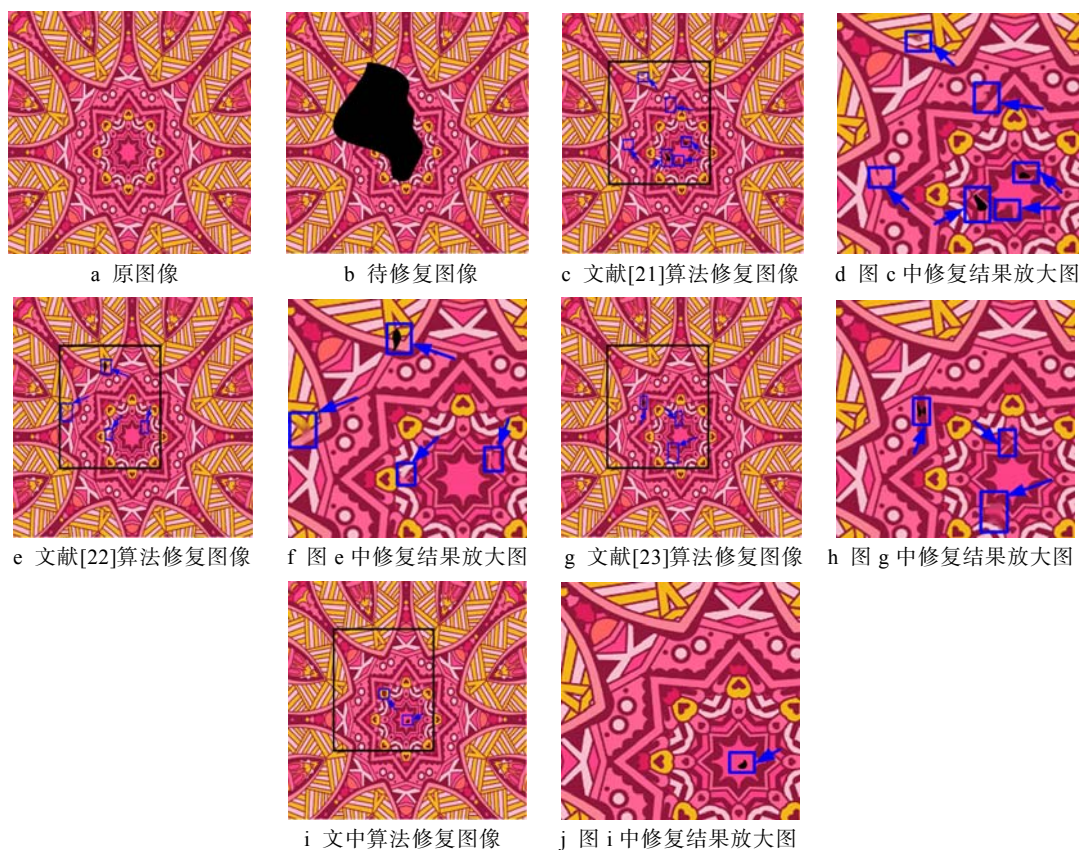


图 9 4 种算法对复杂纹理结构图像的修复效果

Fig.9 Repair effect of four algorithms on complex texture image



为了客观评估所提算法与对照组技术的修复效率，记录上述 3 种算法修复图 7b、图 8b 以及图 9b 时所消耗的时间，结果见表 1—3。依表 1—3 可知，对于 3 个测试对象，文中算法的修复耗时分别为 4.05, 4.63, 3.87 s，较对照组耗时为最短。

为了客观反映所提算法在修复效率方面的稳定性，从加州理工学院 Caltech 101 数据库<sup>[24]</sup>中选取 15 幅纹理结构较为简单的图像：airplane, face, motor-bike, anchor, ant, cup, stop-sign, lotus, ibis, headphone, ewer, elephant, stapler, scissors, snoopy，以及 15 幅纹理结构较为复杂的图像：sunflower, pizza, google background, nautilus, yin-yang, brain, chandelier, accordion, menorah, llama, euphonium, crab, bonsai, joshua-tree, ferry，对这 30 幅图像均采用遮蔽物进行 20% 的破损，然后利用不同算法对破损图像进行修复。通过统计每种算法修复每一幅损坏图像的时间，取其平均耗时作为最终结果，见表 4。根据表中数据可知，对于这 30 幅图像，文中算法的修复平均耗时为 4.32 s，要低于其他 3 种修复技术。这说明文中算法的修复效率最高。主要原因是文中在搜索最优匹配块时，制定了四级模板方法，由于四级模板成嵌套关系，每次当模板扩大一级计算时，都只需对扩大的增量进行计算，从而显著降低了算法的计算量，提高其修复效率。文献[21]算法利用局部结构乘法器来完善修复块的优先权，且借助全局搜索方法来替代局部搜索窗口来完成图像修复，显著增加了计算复杂度，从而降低了算法的修复效率。文献[22]算法中利用深度分层图像的方法来完成图像修复，以满足修复图像的时空一致性，在进行图像的深度分层时，需要遍历每个前景与背景像素，使其整个修复耗时较多。文献[23]算法中利用双树复小波方法对图像进行分解后，再通过全变分模型以及曲率驱动扩散模型分别对高频以及低频分量进行修复，由于此技术需要求解全变分模型，需要大量的迭代计算，从而使得算法的修复效率有所下降。

2.2 修复图像的结构相似度测试

通过结构相似度指标（SSIM）可以对修复后图像与原图像的相似度进行对比，从而实现对修复算法进行量化测试。将图 8a 作为测试图像，然后对其添加不同程度的遮蔽损坏，造成测试图像形成不同程度的损坏，接着利用不同算法损坏的测试图像进行修

表 1 不同算法对图 7b 的修复耗时  
Tab.1 Time consuming for the repair of graph 7b by different algorithms

| 所用算法     | 平均耗时/s |
|----------|--------|
| 文献[21]算法 | 5.49   |
| 文献[22]算法 | 5.21   |
| 文献[23]算法 | 4.51   |
| 文中算法     | 4.05   |

表 2 不同算法对图 8b 的修复耗时  
Tab.2 Time consuming for the repair of graph 8b by different algorithms

| 所用算法     | 平均耗时/s |
|----------|--------|
| 文献[21]算法 | 6.54   |
| 文献[22]算法 | 6.13   |
| 文献[23]算法 | 5.43   |
| 文中算法     | 4.63   |

表 3 不同算法对图 9b 的修复耗时  
Tab.3 Time consuming for the repair of graph 9b by different algorithms

| 所用算法     | 平均耗时/s |
|----------|--------|
| 文献[21]算法 | 5.14   |
| 文献[22]算法 | 4.67   |
| 文献[23]算法 | 4.31   |
| 文中算法     | 3.87   |

表 4 不同算法修复 30 幅图像的平均耗时  
Tab.4 The average time consuming of different algorithms for 30 images

| 所用算法     | 平均耗时/s |
|----------|--------|
| 文献[21]算法 | 5.82   |
| 文献[22]算法 | 5.67   |
| 文献[23]算法 | 4.58   |
| 文中算法     | 4.32   |

复，并对修复后图像的结构相似度进行测量，用于对比不同算法的修复性能。

文算法修复的图像最逼近原图像的结果见图 10，具有最好的修复效果。究其原因因为文中利用四级模板大小以及构造的匹配度量模型，对待修复块以及匹配块进行动态匹配，选取具有最佳匹配效果的匹配块作为最优匹配模板，对待修复块进行复制填充，克服了块效应以及模糊效应等的产生，提高了算法的修复质量。同时文中还采用了最优匹配度量结果作为调节因子，构造了置信度更新模型，对置信度进行更新，以保证修复顺序的合理进行，以及对修复误差进行修正，进一步提高了算法的修复效果。

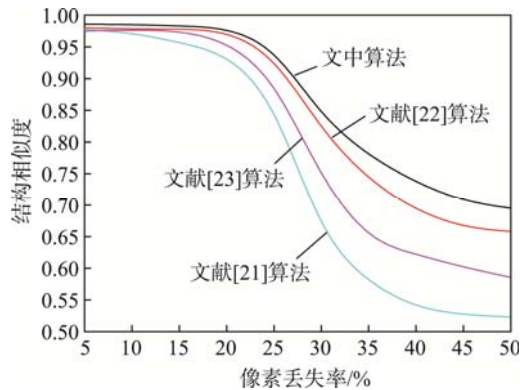


图 10 4 种算法修复图像的结构相似度测试结果  
Fig.10 Structural similarity test results of four algorithms to repair images

### 3 结语

文中从选取优先修复块、获取最优匹配模板、修复优化、置信度更新等 4 个方面入手,设计了一种基于改进的优先权与匹配优化度量的图像修复算法。利用构造的平滑因子建立优先权模型,通过对待修复块进行优先权度量,选取优先修复块。利用利用误差平方和模型构造的匹配度量模型,在四级模板大小的基础上,对待修复块以及匹配块进行动态匹配,选定匹配效果最佳的匹配块作为最优匹配模板,对待修复块进行填充修复。为了对修复区域进行优化,通过像素点的灰度值构造邻域灰度差分模型,对修复区域的边缘进行缝合,使得修复区域边缘更加光滑。为了保证修复秩序的合理性,将最优匹配度量结果引入置信度更新模型中,用于对置信度更新。通过实验验证了文中算法的合理性及优异性。

### 参考文献:

- [1] 田祎, 刘爱军. 2D 非调和耦合扩散张量的图像修复算法[J]. 包装工程, 2015, 23(7): 96—102.  
TIAN Yi, LIU Ai-jun. Image Restoration Algorithm for 2D Non-harmonic Analysis Coupled Diffusion Tensor[J]. Packaging Engineering, 2015, 23(7): 96—102.
- [2] NISHANT T. Image Enhancement and Restoration by Image Inpainting[J]. International Journal of Engineering Research and Applications, 2014, 12(4): 30—34.
- [3] SWAMI P, JAIN A. Image Denoising by Supervised Adaptive Fusion of Decomposed Images Restored Using Wave Atom, Curvelet and Wavelet Transform[J]. Signal, Image and Video Processing, 2014, 8(3): 443—459.
- [4] LI Kang-shun, WEI Yun-shan, YANG Zhen. Image Inpainting Algorithm Based on TV Model and Evolutionary Algorithm[J]. Soft Computing, 2016, 20(3): 885—893.
- [5] LI Zun, WU Jin, LIU Jin. Criminisi Algorithm Based on Marginal Structure for Image Inpainting[J]. Chinese Journal of Liquid Crystal & Displays, 2014, 29(5): 756—758.
- [6] 张东, 唐向宏, 张少鹏. 小波变换与纹理合成相结合的图像修复[J]. 中国图像图形学报, 2015, 20(7): 882—894.  
ZHANG Dong, TANG Xiang-hong, ZHANG Shao-peng. Image Restoration Combined with Wavelet Transform and Texture Synthesis[J]. Chinese Journal of Image Graphics, 2015, 20(7): 882—894.
- [7] 屠昕, 钮圣虢, 陈更生. 一种基于分水岭分割的快速图像修复算法[J]. 复旦大学学报(自然科学版), 2017, 56(1): 57—70.  
TU Xin, NIU Shen-hu, CHEN Geng-sheng. A Fast Image Restoration Algorithm Based on Watershed Segmentation [J]. Journal of Fudan University (Natural Science Edition), 2017, 56(1): 57—70.
- [8] WANG Wei-lan, JIA Yan-jun. Damaged Region Filling and Evaluation by Symmetrical Exemplar-based Image Inpainting for Thangka[J]. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2017, 12(1): 1—13.
- [9] SI Wang, GUO Wei-hong, HUANG Ting-Zhu. Image Inpainting Using Reproducing Kernel Hilbert Space and Heaviside Functions [J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2017, 311(2): 551—564.
- [10] 沈跃, 徐慧, 刘慧. 基于 K-means 和近邻回归算法的 Kinect 植株深度图像修复[J]. 农业工程学报, 2016, 19(32): 188—194.  
SHEN Yue, XU Hui, LIU Hui. Kinect Plant depth Image Restoration Based on K-means and Near Neighbor Regression Algorithm[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2016, 19(32): 188—194.
- [11] ANAMAND S. Exemplar-Based Color Image Inpainting: A Fractional Gradient Function Approach[J]. Pattern Analysis and Applications, 2014, 17(2): 389—399.
- [12] ZHOU Ya-tong, LI Lin, XIA Ke-wen. Research on Weighted Priority of Exemplar-Based Image Inpainting[J]. Journal of Electronics, 2012, 29(2): 166—170.
- [13] 李爱菊, 钮文良. 基于改进 Criminisi 算法的图像修复[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(18): 167—170.  
LI Ai-ju, NIU Wen-liang. Image Restoration Based on Improved Criminisi Algorithm[J]. Computer Engineering and Application, 2014, 50(18): 167—170.
- [14] 张婷曼. 基于小波阈值自适应修正的模糊图像修复算法[J]. 控制工程, 2015, 22(6): 1166—1170.  
ZHANG Ting-man. Fuzzy Image Restoration Algorithm Based on Adaptive Correction of Wavelet Threshold[J]. Control Engineering, 2015, 22(6): 1166—1170.
- [15] MULAMMAD S, ARIF M, MARCO G. Image De-fencing Framework with Hybrid Inpainting Algorithm[J]. Signal, Image and Video Processing, 2016, 10(7): 1193—1201.
- [16] LIU Ying, LIU Chan-juan, ZOU Hai-lin. A New Structure Tensor Based Image Inpainting Algorithm[J]. International Journal of Grid and Utility Computing, 2016, 7(4): 294—303.
- [17] 王聪, 杨晶, 潘秀娟. 基于光参量放大相位共轭特性的图像修复与增强[J]. 物理学报, 2017, 66(10): 1—7.  
WANG Cong, YANG Jing, PAN Xiu-juan. Image Restoration and Enhancement Based on Phase Conjugation Characteristic of Optical Parametric Amplification [J]. Journal of Physics, 2017, 66(10): 1—7.
- [18] 许刚, 马爽. 动态尺度块匹配约束下的链式优化图像修复研究[J]. 电子学报, 2015, 43(3): 529—535.  
XU Gang, MA Shuang. Research on Optimized Chain Image Restoration Under Dynamic Scale Block



- Matching Constraint[J]. Electronic Journal, 2015, 43(3): 529—535.
- [19] RAJKUMAR B, VINAYADATT K. Texture Inpainting Using Covariance in Wavelet Domain[J]. Journal of Intelligent Systems, 2013, 22(3): 299—315.
- [20] MRINMOY G, BHABATOSH C. An Image Inpainting Method Using pLSA-Based Search Space Estimation[J]. Machine Vision and Applications, 2015, 26(1): 69—87.
- [21] CHEN Zhi-hua, DAI Chao, JIANG Le. Structure-Aware Image Inpainting Using Patch Scale Optimization[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2016, 40(A): 312—323.
- [22] MUDDALA S, OLSSON R, SJÖSTRÖM M. Spatio-Temporal Consistent Depth-Image-Based Rendering Using Layered Depth Image and Inpainting[J]. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2016, 4(1): 1011—1019.
- [23] 窦立云, 徐丹, 李杰. 基于双树复小波的图像修复[J]. 计算机科学, 2017, 44(6A): 179—183.
- DOU Li-yun, XU Dan, LI Jie. Image Restoration Based on Double Tree Complex Wavelet[J]. Computer Science, 2017, 44(6A): 179—183.
- [24] 王林, 雷佳, 郝惠惠. 基于 Hadoop 的改进聚类算法在图像修复上的应用[J]. 微型机与应用, 2017, 36(18): 49—51.
- WANG Lin, LEI Jia, HAO Hui-hui. Application of Improved Clustering Algorithm Based on Hadoop in Image Inpainting[J]. Microcomputer & Its Applications, 2017, 36(18): 49—51.