

基于匹配调节法则和梯度约束模型的图像修复算法

吴银芳¹, 朱森诚²

(1.江苏护理职业学院, 淮安 223300; 2.南京医科大学, 南京 210029)

摘要: **目的** 针对当前较多图像修复算法难以根据不同纹理结构来自适应调整修复块的尺寸, 导致修复结果中存在不连续效应和模糊效应等不足, 提出一种结合匹配调节法则和梯度约束模型的图像修复算法。**方法** 首先, 利用平滑因子对置信度项进行约束, 构造优先级判定模型, 对待修复块的优先级进行度量, 确定优先修复块。随后, 通过 SSD 模型度量样本块之间的匹配结果, 并根据匹配结果制定匹配调节法则, 使得样本块能根据匹配度自适应调节其大小, 以提高修复质量。最后, 将梯度模值块中像素点的均方距离度量结果与样本块中像素点相结合, 构造梯度约束模型, 用以获取最佳匹配块对待修复块进行填充修复。**结果** 实验结果表明, 与当前图像修复算法相比, 该算法修复的图像具有更好的修复质量, 在像素丢失率较高的情况下, 仍然具有较高的相似度值。**结论** 所提算法具备较好的修复视觉质量, 可用于被大面积损坏图像的修复。

关键词: 图像修复; 优先级判定模型; 匹配调节法则; SSD; 梯度约束模型; 平滑因子

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)13-0239-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.13.038

Image Inpainting Algorithm Based on Matching Adjustment Rule and Gradient Constraint Model

WU Yin-fang¹, ZHU Sen-cheng²

(1.Jiangsu College of Nursing, Huai'an 223300, China; 2.Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China)

ABSTRACT: The work aims to propose an image inpainting algorithm based on matching adjustment rule and gradient constraint model, regarding such deficiencies as discontinuity effect and fuzzy effect in the restoration results caused by the situation that currently it is hard for major image inpainting algorithms to make self-adaptive adjustments of the restored block size according to different texture structures. Firstly, the confidence item was restrained by smoothing factor. The priority decision model was constructed to measure the priority of the block to be restored and determine the preferably restored block. Then, the SSD model was used to measure the matching results between sample blocks, and the matching adjustment rule was set out according to the matching results, so that the adaptive adjustment of sample block size could be made according to the matching degree, in order to improve the restoration quality. Finally, the gradient constraint model was constructed by combining the measurements of mean square distance of the pixels in the gradient modulus block with the pixels in the sample blocks, so as to obtain the best matching blocks for the filling and restoration of the blocks to be restored. The experimental results showed that, compared with the current image inpainting algorithm, the image restored by the proposed algorithm had better restoration quality and still had higher similarity value when the pixel loss rate was higher. The proposed algorithm has better visual restoration quality and can be used for the restoration of extensively damaged image.

KEY WORDS: image inpainting; priority decision model; matching adjustment rule; SSD; gradient constraint model; smoothing factor

收稿日期: 2017-08-06

基金项目: 江苏省自然科学基金 (K2014401)

作者简介: 吴银芳 (1983—), 女, 硕士, 江苏护理职业学院讲师, 主要研究方向为图像处理、医学影像技术、计算机技术。

当今社会信息科学技术已经渗透到人们生活的方方面面,人们在生产劳动过程中已经无时无刻地与信息打交道。信息的载体多种多样,数字图像就为其中之一。人们已经普遍利用数字图像进行信息的传送与存储等。由于存在大气波动、成型设备技术的限制等因素,难免会使得数字图像存在破损情况^[1-2]。数字图像破损后,人们就不能获取完备的图像信息,为了对数字图像破损区域进行修复,获取完整的图像信息,人们尝试了多种图像修复的方法。图像修复就是利用图像中未被损坏的信息,对已损坏的信息进行填充修补的过程^[3-4]。近些年,图像修复技术已经被广泛用于考古研究、遥感探测等多项技术领域,成为了当前数字图像处理技术研究的热点之一。

目前图像修复技术多种多样,其中基于 Criminisi 方法的图像修复技术为常见的技术之一,例如:江平^[5]等通过对 Criminisi 方法进行研究,提出了一种结合 CCD 模型和 Criminisi 算法的图像修复算法,利用自适应直方图均衡化对图像的动态范围进行扩张,接着利用形态学算子对图像的划痕损坏部分以及大面积损坏部分进行分割,通过 CCD 模型实现划痕损坏的修复,利用 Criminisi 算法进行大面积以及全面的修复实现图像的修复。实验表明该方法能够对破损图像进行修复,但是修复图像中存在一定不连续效应,以及算法的鲁棒性能不佳。基于 PDE 技术的图像修复算法也得到了较为广泛的应用,例如:Fredrik^[6]等利用 PDE 技术提出了一种基于 PDE 系数识别的图像修复算法,通过破损区域的边界已知像素点,沿着等照度线方向进行插值计算,进而实现对破损区域的扩散修复。实验结果显示该算法对破损图像的修复具有一定的效果,特别对于细小区域的损坏修复效果较好,但是该方法对于损坏面积较大的图像修复效果不佳。Li^[7]等利用 TV 技术提出了一种基于 TV 模型耦合进化算法的图像修复算法,通过对 TV 模型修复图像的过程进行分析,找出其中的不足,继而利用进化算法对其进行优化,从而实现图像修复,实验表明,该方法具有较好的图像修复效果,但是修复的图像中存在模糊效应以及块效应。又如:钱方^[8]等利用结构相似度函数,提出了一种基于小波变换的多尺度 SSIM 算法,利用小波变换对图像进行分割后,再利用 SSIM 模型对分割块进行相似度计算,继而完成图像的修复,实验结果显示该方法修复的图像能够保留较好的细节信息,但是在边缘部分存在一定的振铃效应。

为了更好地对损坏图像完成复原,文中提出一种结合匹配调节法则和梯度约束模型的图像修复算法,并通过仿真实验分析,对文中算法的修复性能进行验证。

1 文中图像修复算法流程设计

所提匹配调节法则和梯度约束模型的图像修复算法过程见图 1。首先,在获取优先修复块时,通过平滑因子对传统的置信度项进行平滑约束,利用约束后的置信度项来构造优先级判定模型,从破损区域中判定出优先修复块。提高了算法的鲁棒性能以及稳定性。在调节样本块大小时,通过 SSD 模型度量出样本块之间的匹配度,并以之为依据建立了匹配调节法则,通过该法则实现了样本块大小的自我调节,提高了算法的修复正确度。在获取最佳匹配块时,通过建立在梯度模值块中像素点的均方距离度量,和样本块中像素点的 SSD 度量之上的梯度约束模型,对待修复块和匹配块之间的相似度进行度量,从而精确地选取出相似度最佳的匹配块作为最佳匹配块,对待修复块进行填充修复。

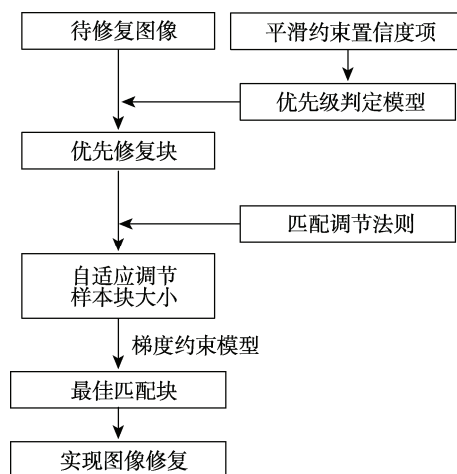


图 1 文中图像修复算法过程

Fig.1 Process of the proposed image inpainting algorithm

1.1 获取优先修复块

Criminisi 算法中利用数据项 $D(p)$ 以及置信度项 $C(p)$ 来度量待修复块的优先级^[9-10]:

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

式中: p 为待修复区域 β 对应边界 $\partial\beta$ 上的一个待修复像素点; $C(p)$ 为以 p 为中心的待修复块 ϕ_p 中所包含已知图像信息的比重,其值越大表示所包含的已知信息越多,该块的优先级别就越高; $D(p)$ 为图像的结构强度信息,其值越大表示表面线性结构越强,该块优先级别越高。 $C(p)$ 与 $D(p)$ 的表达式为:

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in \phi_p \cap \delta} C(q)}{|\phi_p|} \quad (2)$$

$$D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp \cdot n_p|}{\alpha} \quad (3)$$

式中: δ 为待修复图像 I 中的已知区域 ($\delta=I-\beta$); $|\varphi_P|$ 为 φ_P 的面积; $\nabla I_p^\perp$ 为已知区域边界的梯度向量; n_P 为 p 处的梯度法向量; α 为归一化系数。

为了防止 $C(p)$ 随着修复的进行而降为 0, 导致优先级度量的结果不可靠^[11-12], 需要对式 (1) 进行修正, 过程如下所述。

利用平滑因子 h 对置信度项 $C(p)$ 进行平滑约束, 以使得新的置信度项 $C'(p)$ 的取值位于 $[h, 1]$ 范围内, 其表述为:

$$C'(p) = (1-h)C(p) + h \quad (4)$$

式中: 平滑因子 h 的取值范围为 $(0, 1]$ 。当 h 值取值过大将导致 $C'(p)$ 的曲线过于平滑, 易使得多个像素点出现相同的优先级; 当 h 值取值过小将导致 $C'(p)$ 的曲线变化较大, 易使得优先级度量结果趋于 0。通过实验验证, 在此取 $h=0.6$ 时, 优先级度量效果较佳。

接着对 $C'(p)$ 和 $D(p)$, 利用调节因子 ε 施以权重调节, 以构造文中所用的优先级判定模型:

$$P(p) = (1-\varepsilon)C'(p) + \varepsilon D(p) \quad (5)$$

式中: 权重系数 $\varepsilon \in [0, 1]$ 。

利用式 (5) 从待修复区域中选取优先级最高像素点对应的待修复块作为优先修复块。

2.2 调节样本块大小

由于图像中不同纹理结构的边缘特征具有一定的差异性, 而纹理结构修复的效果与样本块大小的取值有着密切的关系, 因此对于图像中不同纹理结构修复时, 若采用固定尺寸的样本块, 将导致修复图像中出现不连续效应以及模糊效应等^[13-14]。为了克服这些不良效应的产生, 文中将通过样本块之间的匹配度建立匹配调节法则, 对样本块大小进行自适应的调节。

当前常用 SSD 模型对样本块之间的匹配程度进行度量, 其表述为^[15]:

$$SSD(\varphi_p, \varphi_q) = \sqrt{\sum [(p^R - q^R)^2 + (p^G - q^G)^2 + (p^B - q^B)^2]} \quad (6)$$

式中: $p^i, q^i (i=R, G, B)$ 分别为待修复块 φ_P 以及匹配块 φ_q 中, 已知像素点 p 和 q 对应的 3 个颜色特征分量值^[16]。

通过式 (6) 可以获取样本块之间的匹配程度。通过样本块之间的匹配程度建立如下匹配调节法则, 用于对样本块大小的自适应调节。首先, 将样本块大小设置为 5×5 大小。然后通过式 (6) 对样本块之间的匹配度进行度量, 计算所得的 $SSD(\varphi_P, \varphi_q)$ 值越大, 则表示样本块的匹配度越差, 反之越好。然后, 将上一次计算所得的样本块匹配度值作为参考值, 用该次计算所得的匹配度值与参考值作比较。最后, 若比较值大于阈值 ϕ , 则表示样本块之间的匹配度较差, 应该适当减小样本块的大小。若比较值小于阈值

ϕ , 则表示样本块之间的匹配度较好, 可以适当增大样本块的大小。

2.3 获取最佳匹配块

当前较多图像修复算法主要依靠平方差之和函数对待修复块和匹配块进行颜色距离度量, 来搜索最佳匹配块^[17-18]。该方法忽略了图像块的梯度信息, 使得搜索到的最佳匹配块存在一定的误差, 易导致修复图像出现块效应等不足。由此, 文中利用梯度模值块中像素点的均方距离度量, 联合样本块中像素点的 SSD 度量, 构造了梯度约束模型, 将图像的梯度特征引入最佳匹配块的搜索过程, 减少搜索最佳匹配块过程中产生的误差, 抵制修复过程中产生的块效应等不良现象。

设待修复图像 I 对应的梯度模值图像为 T , 则图像 I 中任意一个像素点 v 对应的梯度模值, 可通过其对应水平以及垂直方向的度 $T_v(x)$ 以及 $T_v(y)$ 来表述:

$$T(v) = \sqrt{T_v(x)^2 + T_v(y)^2} \quad (7)$$

通过式 (7) 可以对梯度模值图像块中像素点梯度模值进行求解。接着可以通过均方距离函数 $JD(x, y)$ 利用像素点的梯度模值, 对梯度模值块中像素点的均方距离进行度量^[19]。

令 T_{φ_k} 和 T_{φ_b} 分别为梯度模值图像 T 中, 以像素点 k 和 b 为中心的梯度模值图像块, 且 T_{φ_k} 和 T_{φ_b} 的大小与待修复块 φ_P 的大小一致。则 T_{φ_k} 和 T_{φ_b} 的均方距离度量可表示为 $JD(T_{\varphi_k}, T_{\varphi_b})$ 。

将均方距离度量和 SSD 度量相结合, 构造梯度约束模型:

$$TSDP = \theta SSD(\varphi_p, \varphi_q) + (2-\theta) JD(T_{\varphi_p}, T_{\varphi_q}) \quad (8)$$

式中: $\theta \in (0, 2)$ 为比例因子; T_{φ_k} 和 T_{φ_b} 分别为梯度模值图像中, 与待修复图像中 φ_P 和 φ_q 对应的梯度模值图像块。

利用式 (8) 从颜色距离以及梯度信息方面, 对待修复块 φ_P 以及匹配块 φ_q 的相似度进行度量, 取 TSDP 度量最小值对应的匹配块作为最佳匹配块, 用于对待修复块进行填充修复。

3 仿真实验与分析

仿真实验在内存为 8 GB、硬盘为 500 GB、CPU 为 Intel 2.5 GHz、操作系统为 Window7 的 PC 上进行, 采用 Matlab 2009b 作为仿真软件。为了突出所提算法的优越性, 将经典的基于 Criminisi 算法的修复技术^[20], 以及具有代表性的最新图像修复技术——基于改进的结构张量的图像修复技术^[21]作为对照组。实验的主要参数设置: $h=0.6, \varepsilon=0.3, \theta=1.5$ 。

3.1 图像修复视觉效果与分析

在此,利用文中算法、文献[20]、文献[21]算法分别对划痕破坏图像以及遮蔽物破坏图像进行修复,通过不同算法修复图像的视觉效果对比分析,以体现算法的修复性能。不同算法对划痕破坏图像的修复效果见图 2。从图 2 中可见,对照组算法以及文中算法都能对划痕破坏图像进行修复,且整体修复效果较好。通过将文献[20]算法修复的图像效果(见图 2c),与文献[21]算法修复的图像效果(见图 2d),以及文中算法修复的图像效果(见图 2e)进行对比可见,文献[20]算法修复的图像中具有修复不完全效应与块效应,文献[21]算法修复的图像中具有不连续效应,但是,文中算法修复的图像中没有这些不良效应。不同算法对遮蔽物破坏图像的修复效果见图 3。由图 3 可见,文献[20]算法修复图像的整体效果(见图 3c),文献[21]算法修复图像的整体效果(见图 3e)和文中算法修复图像的整体效果(见图 3g)都较好,但是将不同算法的修复区域进一步放大时可见,文献[20]算法的修复区域中存在模糊效应以及块效应(见图 3d),文献[21]算法的修复区域中存在振铃效应以及一定的残留遮蔽物(见图 3f),而文中算法能够对修复区域较好的完全修复(见图 3h)。由此说明,文中算法能够对损坏图像进行较好的修复,而且修复的图像具有良好的视觉效果。原因是文中算法利用了平滑因子 h 对置信度项 $C(p)$ 进行平滑约束,改进了传统的图像修复块的优先级确定模型,使得图像在修复过程中,能够保持修复块的优先级,并依据 SSD 模型的匹配结果,设计了匹配调节法则,使得样本块能根据匹配度自适应调节其大小,充分避免了因采用固定尺寸的样本块所导致的不连续效应以及模糊效应,且考虑了图像块的梯度信息,利用梯度约束模型来获取最佳匹配块对待修复块填充修复,显著改了图像的修复质量。文献[20]算法是经典的 Criminisi 算法来实现图像填充修复,但是其置信度项 $C(p)$ 在算法迭代期间会趋于 0,导致其无法确保修复块的优先级顺序,降低了复原质量。文献[21]算法在利用结构张量来确定优

先级时,该技术是采用了固定尺寸的修复块,难以根据不同的纹理结构来自适应调整修复块的尺寸,导致修复图像的边缘部分会出现振铃效应等。

3.2 图像修复客观评价与分析

为了直观量化 3 种算法的修复质量,文中引入结构相似度指标 SSIM 来对 3 种算法的修复性能进行客观评价与分析。采用图 3b 为测试对象,利用不同修复迭代次数进行测试,并将测试结果形成曲线。3 种算法的迭代次数与修复图像 SSIM 测试结果见图 4。从图 4 可见,随着迭代次数的增加,3 种算法修复图像的 SSIM 值就越大。在迭代次数相同的情况下,文中算法修复图像的 SSIM 值始终都大于文献[20]、文献[21]方法的 SSIM 值。当图像的像素丢失率达到 30%时,所提算法的修复图像与初始图像的 SSIM 为 0.951,而文献[20]、文献[21] 2 种算法的 SSIM 值分别为 0.833, 0.864;当图像的像素丢失率达到 50%时,所提算法的修复图像与初始图像的 SSIM 为 0.863,而文献[20]、文献[21] 2 种算法的 SSIM 值分别为 0.758, 0.809。这说明文中算法修复图像的结构相似程度最大,修复图像的效果最好,而且对于大面积损坏图像时,仍具有良好的复原能力。因为文中采用了建立在样本块匹配度之上的匹配调节法则,对样本块大小进行了自适应的调节,使得算法在修复破损图像过程中能动态的适应不同纹理结构的修复要求,且可用于大面积损坏的图像修复。同时,文中还利用了建立在像素点 SSD 度量以及梯度信息之上的梯度约束模型,实现了最佳匹配块的精确搜索,从而提高了算法的修复精度,实现了修复图像的良好效果。文献[20]算法是经典的 Criminisi 算法来实现图像填充修复,但是此技术无法确保修复块的修复顺序,导致其复原质量较低。文献[21]算法是将新的结构张量引入到待修复子块的优先权中,通过搜索最优匹配块来改善复原质量,但是,利用结构张量来确定优先级时,使其修复块的尺寸是固定的,难以根据不同的纹理结构来自适应调整修复块的尺寸,导致修复图像的边缘部分会出现振铃效应等,从而使得修复质量不佳。

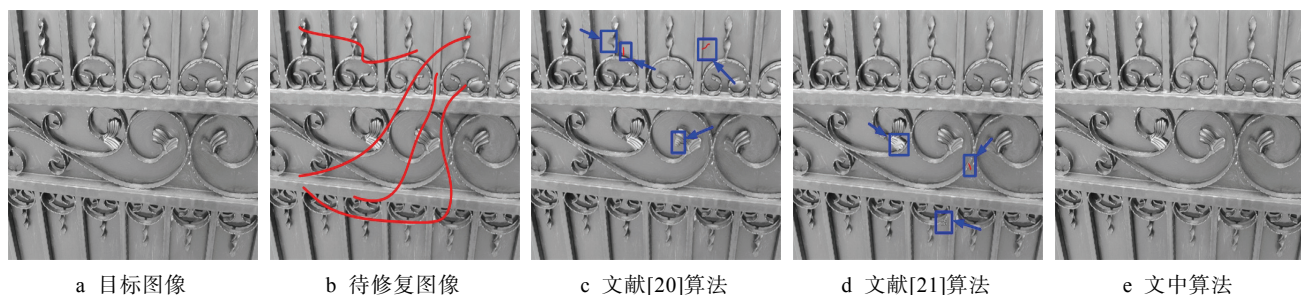


图 2 不同算法对划痕破坏图像的修复效果

Fig.2 Restoration effects of different algorithms on images damaged by scratch

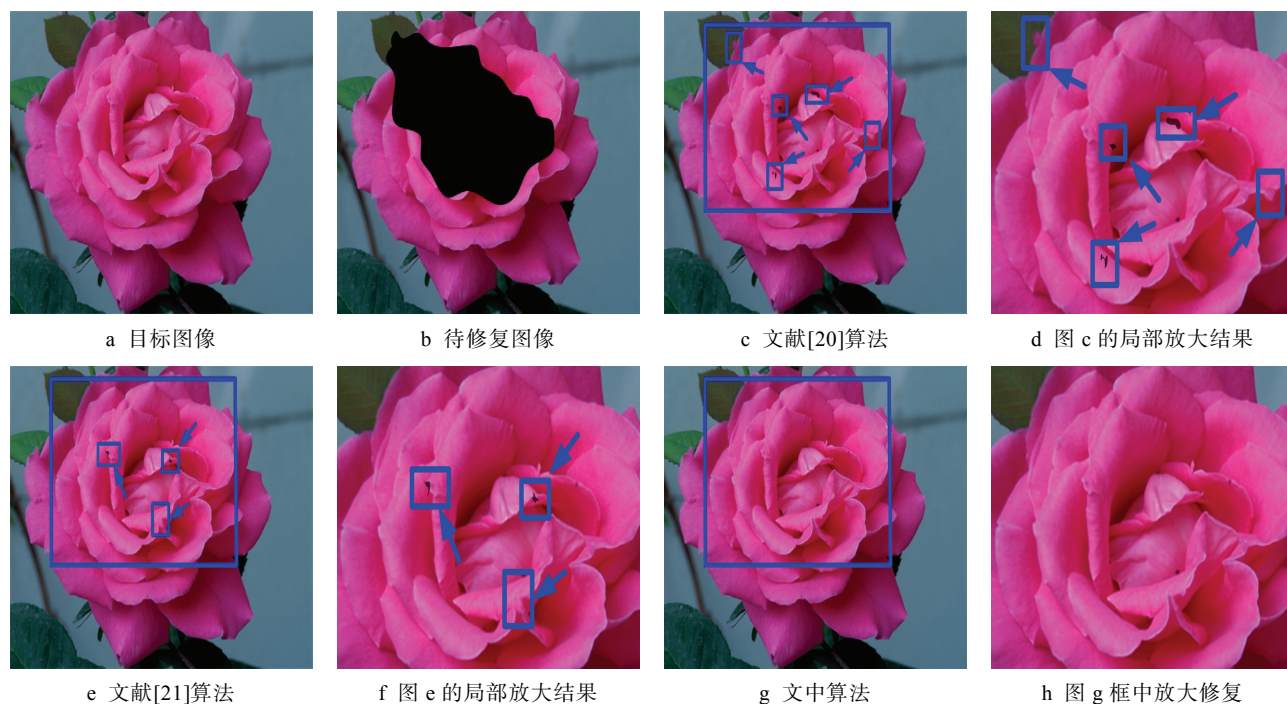


图 3 不同算法对遮蔽物破坏图像的修复效果

Fig.3 Restoration effects of different algorithms on image damaged by occlusion

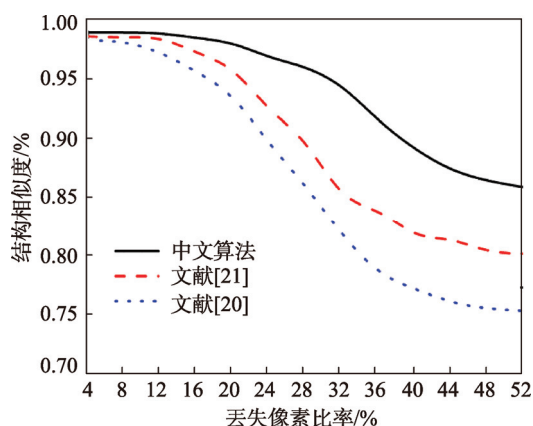


图 4 3 种算法的修复图像与初始图像的 SSIM 测试结果

Fig.4 The SSIM test results of inpainting images and initial images of three algorithms

4 结语

文中提出了一种结合匹配调节法则和梯度约束模型的图像修复算法。利用平滑调节后的置信度项构造了优先级判定模型，获取优先修复块。确保了图像修复过程的有序进行，提高了算法的鲁棒性能。利用 SSD 模型获取到的样本块之间的匹配度作为依据，建立了用于对样本块大小进行调整的匹配调节法则，确保了选择样本块大小的合理性，提高了算法的修复质量。利用梯度模值块中像素点的均方距离以及样本块中像素点的 SSD 度量，构造了梯度约束模型，精确地选取了最佳匹配块，对待修复块进行填充修复。进一步提高了算法的鲁棒性能以及修复图像的视觉效果。

果。通过实验分析验证了文中算法能够获取视觉效果较好的修复图像。

参考文献：

- [1] FAKHRY K. Textured Image Denoising Using Dominant Neighborhood Structure[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2014, 39(5): 3759—3770.
- [2] LAURENT H. Understanding Image Inpainting with the Help of the Helmholtz Equation[J]. Mathematical Sciences, 2017, 11(1): 73—77.
- [3] 陈阳. 拓扑梯度耦合 FCMC 的全自动图像修复优化算法[J]. 包装工程, 2014, 35(21): 96—103.
CHEN Yang. The Automatic Image Inpainting Optimization Algorithm Based on Topological Gradient Coupled FCMC[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(21): 96—103.
- [4] VAHID K A, FARZIN Y. Exemplar-based Image Inpainting Using Svd-based Approximation Matrix and Multi-scale Analysis[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(5): 7213—7234.
- [5] 江平, 张锦. 一种结合 CDD 模型和 Criminisi 算法的图像修复算法[J]. 图学学报, 2014, 35(5): 741—746.
JIANG Ping, ZHANG Jin. An Image Inpainting Algorithm Combined of CDD Model and Criminisi Algorithm[J]. Journal of Graphics, 2014, 35(5): 741—746.
- [6] FREDRIK B, GEORGE B. Coefficient Identification in PDEs Applied to Image Inpainting[J]. Applied Mathematics and Computation, 2014, 242(12): 227—235.
- [7] LI K S, WWI Y, YANG Z. Image Inpainting Algorithm

- Based on TV Model and Evolutionary Algorithm[J]. Soft Computing, 2016, 20(3): 885—893.
- [8] 钱方, 孙涛, 郭劲. 基于小波变换的多尺度 SSIM 算法[J]. 液晶与显示, 2015, 30(2): 317—325.
- QIAN Fang, SUN Tao, GUO Jin. Multi-scale SSIM Algorithm Based on Wavelet Transforms[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2015, 30(2): 317—325.
- [9] 田祎, 刘爱军. 2D 非调和分析耦合扩散张量的图像修复算法[J]. 包装工程, 2015, 36(7): 96—102.
- TIAN Yi, LIU Ai-jun. Image Inpainting Algorithm Based on 2D Non-harmonic Analysis Mechanism and Diffusion Tensor[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(7): 96—102.
- [10] 林金勇, 邓德祥, 颜佳. 基于自适应相似组稀疏表示的图像修复算法[J]. 计算机应用, 2017, 37(4): 1169—1173.
- LIN Jin-yong, DENG De-xiang, YAN Jia. Self-adaptive Group Based Sparse Representation for Image Inpainting[J]. Journal of Computer Applications, 2017, 37(4): 1169—1173.
- [11] WEI Y W, LIU S G. Domain-based Structure-aware Image Inpainting[J]. Signal Image and Video Processing, 2016, 10(5): 911—919.
- [12] 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 Wavelet Threshold Adaptive Correction[J]. Control Engineering of China, 2015, 22(6): 1166—1170.
- [13] 尹宝勇, 刘慧, 刘建生. 基于改进 FCM 和径向基函数插值的图像修复[J]. 赣州: 江西理工大学学报, 2014, 35(3): 73—78.
- YIN Bao-yong, LIU Hui, LIU Jian-sheng. Digital Image Inpainting by DEFCM and RBF Interpolation[J]. Ganzhou: Journal of Jiangxi University of Science and Technology, 2014, 35(3): 73—78.
- [14] 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 Inpainting Based on Improved Criminisi Algorithm[J]. Computer Engineer-
- ing and Applications, 2014, 50(18): 167—170.
- [15] 康佳伦, 唐向宏, 任澍. 结构约束和样本稀疏表示的图像修复[J]. 中国图像图形学报, 2013, 18(11): 1425—1434.
- KANG Jia-lun, TANG Xiang-hong, REN Shu. Image Inpainting by Structural Constraints and Sample Sparse Representation[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(11): 1425—1434.
- [16] 吕永利, 姜斌, 包建荣. 基于像素权值的高效小波图像修复算法[J]. 信息与控制, 2015, 44(1): 104—109.
- LYU Yong-li, JIANG Bin, BAO Jian-rong. Efficient Wavelet Image Inpainting Algorithm Based on Pixel Weight Values[J]. Information and Control, 2015, 44(1): 104—109.
- [17] 耿卫江. 结构相似度索引耦合最优稀疏表示的大规模损坏图像动态修复[J]. 科学技术与工程, 2014, 25(14): 107—114.
- GENG Wei-jiang. The Study on the Large-scale Damage Image Inpainting Mechanism Based on Structural Similarity Index Coupled Optimal Sparse Representations[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 25(14): 107—114.
- [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. Image Completion Using Dynamic-scale Patch Matching and Layer-wise Chain Optimization[J]. Acta Electronica Sinica, 2015, 43(3): 529—535.
- [19] JIAOA A S M, TSANGA P W M, POONAB T C. Restoration of Digital Off-axis Fresnel Hologram by Exemplar and Search Based Image Inpainting with Enhanced Computing Speed[J]. Computer Physics Communications, 2015, 193(8): 30—37.
- [20] CRIMINISI A, REZP P, TOYAMA K. Region Filling and Object Removal by Exemplar-based Image Inpainting[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(9): 1200—1212.
- [21] LIU Y, LIU C J, ZOU H L. A New Structure Tensor Based Image Inpainting Algorithm[J]. International Journal of Grid and Utility Computing, 2016, 7(4): 294—303.