

图文信息技术

基于平滑度测量与互相关制约的图像修复算法

张小寒¹, 杨东刚²

(1.湖南财经工业职业技术学院 电子信息系, 衡阳 421002; 2.四川大学 计算机学院, 成都 610065)

摘要: **目的** 为了解决当前较多图像修复算法在对损坏区域实施填充修复时没有考虑图像块之间的相关性, 导致修复图像中存在振铃以及连接间断等不足, 拟设计平滑度测量因子耦合互相关制约的图像修复算法。**方法** 将图像的 Laplace 算子引入到优先权的计算过程中, 以增加图像的边缘信息, 优化数据项的成分, 并利用置信度、图像的 Laplace 算子和数据项构造优先权计算模型, 以获取优先修复块。利用等照度线的二阶导数, 构造平滑度测量因子获取图像的平滑度, 并以图像的平滑度为导向, 对最优匹配块的搜索区域进行定位。通过误差平方和函数 (Sum of Squared Differences, SSD) 在定位的搜索区域中搜寻最优匹配块, 并采用互相关系数函数对最优匹配块的唯一性进行制约, 以提高所获最优匹配块的准确性。**结果** 实验结果显示, 与当前修复技术相比, 所提方法具有更高的连接完整性和清晰度。**结论** 所提方案可对损坏图像完成较好的视觉复原, 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; Laplace 算子; 优先权; 等照度线; 平滑度测量因子; 互相关制约

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)07-0222-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.07.034

Image Inpainting Algorithm Based on Smoothness Measurement and Cross-correlation Constraints

ZHANG Xiao-han¹, YANG Dong-gang²

(1.Department of Electronic Information, Hunan Financial&Industrial Vocational Technical College, Hengyang 421002, China; 2.College of Computer, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

ABSTRACT: To solve the problem as ringing and discontinuous connection effect in repaired images induced by ignoring the correlation between image blocks when filling and repairing damaged areas in current image inpainting algorithm, this paper aims to design an image inpainting algorithm based on smoothness measurement factor coupling and cross-correlation constraints. The Laplace operator was introduced into the priority calculation process to increase the edge information of the image, optimize the components of the data items, and construct the priority calculation model by using the confidence and the Laplace operator and data items of the image to obtain the priority repair module. The smoothness measurement factor was constructed with the second-order differential of the equal illumination line to obtain the smoothness of the image. And the search area of the optimal matching block was located based on the smoothness of the image. In order to improve the accuracy of the optimal matching block, the error square sum function was used to search the optimal matching block in the searching area of the location, and the cross-correlation coefficient function was used to restrict the uniqueness of the optimal matching block. The experimental results showed that the image restored by

收稿日期: 2018-12-31

基金项目: 四川省自然科学基金 (2017JSQ487)

作者简介: 张小寒 (1979—), 男, 硕士, 湖南财经工业职业技术学院讲师, 主要研究方向为图像信息处理、信息安全、软件工程及算法。

the proposed method had more complete edge continuity and clarity than the image restored by the current method, and the visual effect of the restored image can be effectively improved. The proposed scheme can achieve better visual restoration of damaged images, which has a certain reference value in the field of image information processing.

KEY WORDS: image inpainting; Laplace operator; priority; equal illumination line; smoothness measurement factor; cross-correlation constraints

随着科学技术的发展,人们获取信息的途径也变得更为多样化。图像作为一种能直观、便捷表现信息的途径已被应用于多种场合^[1]。一般情况下在采集数字图像和存储以及传送数字图像时都不会对数字图像造成影响,但在网络故障或者存储介质被损坏、采集数字图像的环境较为恶劣时,就极有可能造成数字图像的损坏^[2]。图像修复技术应运而生,当前修复技术在数字图像、包装印刷等领域被广泛应用,例如,对于用户在向印刷企业远程传输印刷内容时,由于网络或其他原因,可能在远程无线传输中发生传输过来的图像信息有残缺,或是数据解压后发生损失,此时,可以利用图像修复技术来复原丢失的信息^[3],另外,在印刷前,可以采用修复技术对存在裂纹、破损、划痕的静态图像实施复原,以便提高印刷质量。

基于偏微分方程的图像修复方法是一种常见的技术,其通过求解偏微分方程,确定像素扩散的方式来获取修复图像,其使用较为广泛。如 Prananta 等^[4]将偏微分方程引入图像修复,设计了采用四阶偏微分方程的图像修复算法,这种方法使得修复速度得以提升,但偏微分方程的方法对损坏面积较大的图像修复效果不好。为了提高对损坏面积较大图像的修复效果,研究者们又提出了基于图像块的图像修复方法。何凯等^[5]对基于图像块修复算法进行研究,提出了一种改进置信度的图像修复算法,通过设计调节函数对置信度进行改进,以抵抗置信度下降过快引起的误差,将 Census 变换方法与 SSD 方法相结合,用以获取最优匹配块。这种方法通过改进置信度提高了优先权计算的准确性,但其获取最优匹配块的过程主要通过图像块之间的颜色信息度量而实现,忽略了图像块之间的互相关性,使得修复结果存在振铃效应。Qian 等^[6]将稀疏表示引入到图像修复的过程,通过对优先权计算的过程进行乘积换求和改造,确定优先修复块,并通过求取图像的稀疏度,构造样本块尺寸调节方法,最后通过求取旋转不变匹配块与图像块颜色信息的方法获取最优匹配块。这种方法通过对样本块的尺寸进行调节,增加了算法对纹理变化的适应性,但其获取最优匹配块的过程,是在整个已知区域中通过度量图像块的旋转与颜色特征来实现,使得算法的修复耗时有增加的同时,还忽略了图像块的相关性,使得修复图像存在不连续现象。

文将 Laplace 算子引入到优先权的计算过程,以增加对待修复块优先权的计算准确度,获取优先修复

块。通过求取图像等照度线的二阶导数,构造平滑度测量因子,对搜索最优匹配块的区域进行界定。在界定的搜索区域内,利用 SSD 函数搜索最优匹配块的同时,还采用互相关系数函数,对最优匹配块的搜索过程进行制约,以使得搜索到的最优匹配块具有唯一性及高准确性,并测试所提算法的修复性能。

1 所提图像修复算法

所提算法由计算优先权、定位搜索区域以及搜索最优匹配块 3 部分组成,其过程见图 1。依图 1 可知,所提算法通过待修复块的数据项、置信度以及 Laplace 算子构造了优先权计算模型,用以对待修复块的优先权值进行计算,以从破损图像中确定优先修复块。接着利用待修复块等照度线的二阶导数构造平滑度测量因子,对待修复块的平滑度进行测量,以实现搜索区域的定位。利用 SSD 函数以及互相关系数函数,在定位的搜索区域中搜索最优匹配块,用以对待修复块进行填充修复,以获取修复图像。

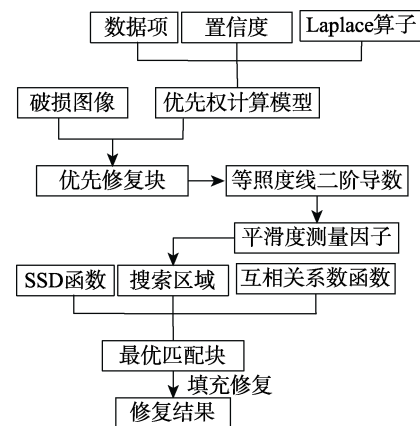


图 1 所提图像修复算法的过程

Fig.1 Process of the proposed image restoration algorithm

1.1 计算优先权

优先权的计算以图像块的信息强度以及所含已知信息量的多少为导向进行,对于信息强度越大,所含已知信息量越多的图像块应该给予优先修复的权利。

数据项 $D(p)$ 与置信度 $C(p)$ 分别是常用的信息强度以及所含已知信息量大小的度量函数。在破损图像

I 中, 令待修复区域为 ϕ , 已知区域为 θ , ϕ 与 θ 交于 $\partial\phi$ 线处。对于 $\partial\phi$ 线上任一待修复像素点 p 对应的待修复块 L_p 的数据项 $D(p)$ 与置信度 $C(p)$ 分别为^[7]:

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in L_p \cap \theta} C(q)}{|L_p|} \quad (1)$$

$$D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp \cdot \mathbf{n}_p|}{\lambda} \quad (2)$$

式中: $|L_p|$ 为 L_p 中所含已知像素的数量; $\nabla I_p^\perp$ 为点 p 的等照度线方向; $\mathbf{n}_p$ 为点 p 的法向量; 归一化系数 $\lambda=255$ 。

经典的 Criminisi 算法中利用 $C(p)$ 与 $D(p)$ 的乘积来计算优先权值 $P(p)$ ^[8]:

$$P(p) = C(p)D(p) \quad (3)$$

由于修复过程的不断深入, 将使得 $C(p)$ 的值快速衰减, 从而导致 $P(p)$ 的值也会出现快速衰减的现象, 此时即使 $D(p)$ 的值再大也无法改变 $P(p)$ 的值变小的局面, 从而使得优先权的计算变得不稳定以及不准确^[9]。另外, 图像的 $D(p)$ 值只是从等照度线的角度反应了图像的信息强度, 不能较好地反应图像的边缘信息强度, 而图像的边缘信息强度是图像信息强度的重要组成部分^[10]。由于图像的 Laplace 算子 ΔL_p 具有较好的边缘信息表述能力, 其值与边缘信息强度成正比。在此将把图像的 Laplace 算子表述的边缘信息注入到 $D(p)$ 表述的信息强度中, 对 $D(p)$ 进行优化:

$$D'(p) = \Delta L_p + D(p) \quad (4)$$

式中: Δ 为 Laplace 算子。

利用优化后的数据项 $D'(p)$ 与 $C(p)$ 构造新的优先权计算模型 $P'(p)$:

$$P'(p) = \alpha C(p) + \beta D'(p) \quad (5)$$

式中: α, β 为权重因子, 且满足 $\alpha + \beta = 1$ 。

从式 (5) 可见, 文中构造的优先权计算模型使得 $P'(p)$ 值的计算从置信度与数据项的乘积计算变成了求和运算, 有效避免了 $C(p)$ 衰减引起的优先权计算不稳定以及不准确的现象。另外, $P'(p)$ 的计算过程还引入了图像的 Laplace 算子 ΔL_p , 使得图像信息强度的计算更为完整, 从而提高了 $P'(p)$ 计算的稳定性以及准确度。

1.2 定位搜索区域

马尔科夫模型指出, 图像的局部统计特征使得图像中任何一个图像块都可以依靠其邻域部分来表达^[11]。对于平滑度较高的图像块, 可在其较小的邻域范围内就能找到适合表达其图像块内容的匹配块。对于平滑度较低的图像块, 就需要在其较大的邻域范围内才能找到适合表达其图像块内容的匹配块^[12]。

等照度线的二阶导数表达了等照度线的曲率特征, 其能够较好地对应图像平滑度进行度量^[13], 因此,

文中将利用等照度线的二阶导数来构造平滑度测量因子, 通过平滑度测量因子对待修复块对应的匹配块搜索区域进行定位。

任取尺寸为 E 的图像块 $W(x, y)$ 中一个像素点, 令其对应的等照度线的灰度值为常量 R , 则该等照度线可表示为:

$$W(x, y) = R \quad (6)$$

式 (6) 两边对 x 进行一阶导数可得等照度线的一阶微分:

$$y' = -(W_x / W_y) \quad (7)$$

再对式 (7) 进行二阶导数可得等照度线的二阶导数:

$$y'' = -\frac{W_x^2 W_{yy} - 2W_x W_y W_{xy} + W_y^2 W_{xx}}{W_y^2} \quad (8)$$

利用式 (7) 和式 (8) 构造平滑度测量因子 S :

$$S = \left| \frac{\delta (W_x^2 + W_y^2)^{3/2}}{W_x^2 W_{yy} - 2W_x W_y W_{xy} + W_y^2 W_{xx}} \right| \quad (9)$$

式中: δ 为调节常量, 为一个正整数。

利用平滑度测量因子 S 确定的搜索区域为以图像块 $W(x, y)$ 为中心的矩形邻域 H , 且 H 的大小为 $S \times E$ 所得的四舍五入取整值。

1.3 搜索最优匹配块

确定搜索区域后, 将在搜索区域中搜索与待修复块匹配度最高的最优匹配块, 用于对其进行填充修复。利用 SSD 函数对图像间颜色信息进行度量来搜索最优匹配块的方法使用较为广泛。

$$SSD(L_p, L'_p) =$$

$$\sum_{p \in L_p} \sum_{p' \in L'_p} \sqrt{\left((p^R - p'^R)^2 + (p^G - p'^G)^2 + (p^B - p'^B)^2 \right)} \quad (10)$$

式中: L_p 为待修复块; L'_p 为已知区域中的匹配块。 $p^x(x=R, G, B)$ 为像素点对应的 R, G, B 值^[14]。

利用式 (10) 在搜索区域中对所有匹配块与待修复块的 SSD 值进行度量, 选取最小值对应的匹配块为最优匹配块。

利用 SSD 函数的方法虽然能够搜索到最优匹配块, 但可能存在多个最小 SSD 值对应的匹配块。SSD 函数只是对图像块间的颜色信息进行了度量, 没有考虑图像块间的相关特性, 会使得搜索到的最优匹配块存在相关度不高的情况, 从而使得修复图像出现连接间断等副效应。

对此, 文中引入互相关系数函数, 用以对 SSD 函数度量的结果进行互相关弥补, 以阻止多个最优匹配块的产生, 同时提高最优匹配块的准确性。

对于大小为 $M \times M$ 的图像块 A 和 B , 令其像素平均值分别为 A' 与 B' , 则图像块 A 和 B 的互相关系数函数 V_{AB} 为^[15]:

$$V_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (A_{ij} - A') (B_{ij} - B')}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (A_{ij} - A')^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (B_{ij} - B')^2}} \quad (11)$$

利用式(10)对已知区域中匹配块与待修复块的SSD值进行计算,并选出 n 个最小SSD值对应的匹配块作为候选对象。利用式(11)分别计算这 n 个候选对象与待修复块的 V_{AB} 值,选取最大 V_{AB} 值对应的候选对象为最优匹配块。

2 实验结果与分析

在IntelI5, 500 GB 硬盘的LENOVO计算机上,通过Matlab 7.10软件进行编程和仿真进行实验。为了更为直观地观察所提算法的修复效果,将文献[16]、文献[17]中图像修复算法作为对照组。其中,文献[16]方法利用小波变换来获取待修复图像的高、低频系数,并利用图像的颜色和结构信息对匹配块的尺寸和数量进行调整,通过窄带模型对匹配块进行优化,实现图像修复。其采用的小波变换是图像修复领域中较为经典的方法,而且通过窄带模型对匹配块进行优化有助于提高修复图像的质量,因此,该方法具有一定的代表性和新颖性。文献[17]方法主要是通过正则化因子与自适应系数对待修复块的优先权计算方法予以改进,并利用绝对差分距离与平方误差和的方法获取最优匹配块,对图像进行修复。这种Crisminisi算法是图像修复技术中较为经典的方法,联合了绝对差分距离与平方误差和的方法得到最优匹配块,具有较好的新颖性。另外,文献[16]方法、文献[17]与文中方法都需要在已知区域中来寻找匹配块,以实现图像修复,三者均属于块修复范畴,而且都能够对大、小破损面积的图像进行修复,因此,文献[16]方法、文献[17]和文中算法具有较好的可比性。实验中,权重因子 α , β 分别取值为0.4与0.6,调节常量 δ 取值为4,待修复块大小为 9×9 ,数量 $n=3$ 。文献[16]和文献[17]则是采用各自算法的实验参数进行测试。实验通过修复效果对比与分析、量化对比与分析2个部分对所提算法及对照组算法进行实验验证。

2.1 修复效果对比与分析

3种算法对不同类型、不同损坏程度的图像修复结果见图2—5。其中,对小面积破损图像的修复结果见图2和图4。通过图2可见,3种算法修复的图像整体效果都不错,但是,文献[16]的修复效果图中含有振铃及修复残留现象,文献[17]的修复效果图中含有连接间断及模糊现象,所提算法修复效果图中含有一处轻微模糊现象。另外,从图4中也可发现,文献[16]的修复效果图中含有连接间断及修复残留现

象,文献[17]的修复效果图中含有块效应及模糊现象,而所提算法修复效果图中仅有一处轻微模糊现象。3种算法对大面积破损图像的修复结果见图3和图5。通过观察图3中3种算法的修复效果发现,文献[16]的修复结果中含有连接间断及块现象,文献[17]的修复图像中含有修复残留及块现象,而所提算法修复效果图中含有2处细小修复残留现象。另外,从图5中也可发现,文献[16]的修复图像中含有块效应及修复残留现象,文献[17]的修复结果中含有振铃及模糊现象,但是,所提算法修复结果图中仅有细小修复残留现象。

为了客观评估不同算法的修复效果,文中计算了3种算法对图2—5的修复图像的峰值信噪比^[18](Peak Signal to Noise Ratio, PSNR),结果见表1。依据表1中的PSNR值可见,所提算法修复图像的PSNR值始终高于文献[16]和文献[17],对于图2—5而言,其修复图像的PSNR值分别为36.82, 32.48, 39.21, 35.13 dB。

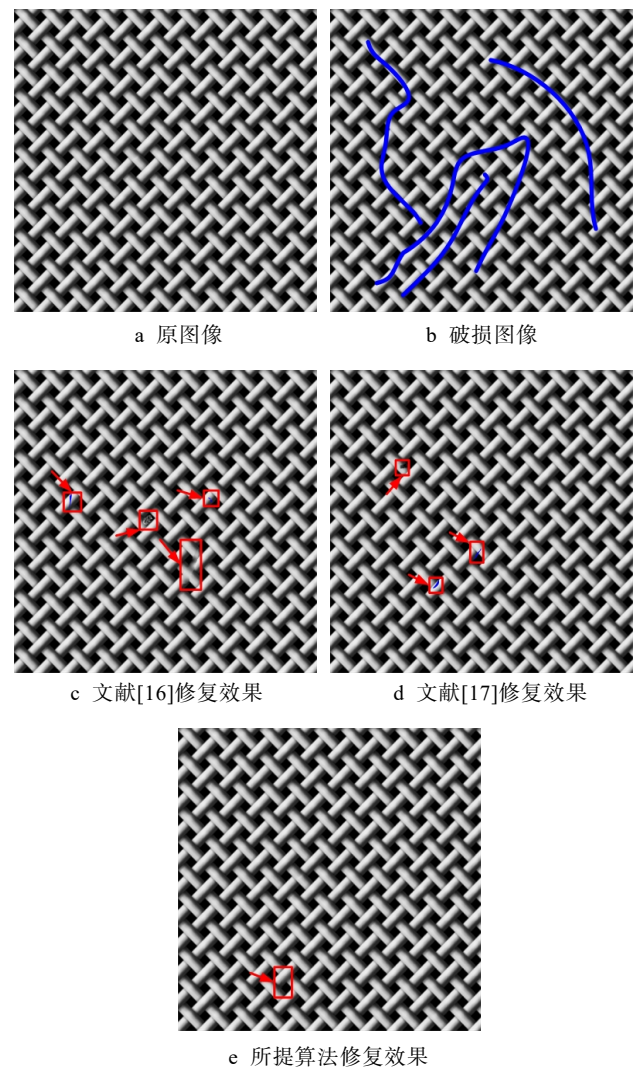


图2 3种算法对小面积破损图像的修复效果
Fig.2 Repair effect of three algorithms on small area damaged images

这说明所提算法修复的图像不存在振铃及连接间断现象, 具有较好的视觉效果。原因是所提算法将图像的 Laplace 算子引入到优先权计算模型的构造中, 不仅丰富了信息强度的表述内容, 而且还具有较稳定、准确的优先权计算过程。同时所提算法还利用等照度线的二阶导数构造了平滑度测量因子, 对最优匹配块的搜索区域进行定位, 使得搜索到的最优匹配块更加准确, 从而提高了算法的修复准确度, 使得修复图像质量得以提高。

2.2 量化测试

结构相似度 (Structural Similarity Index Measurement, SSIM) 能够对修复图像与原图像的结构相似程度进行度量, 能够较好地表述修复图像的质量, 其值与修复图像的质量成正比关系^[19]。在此, 对图 3a 所示图像设置多种程度的破损, 并利用 3 种算法对破损图像进行修复。将 3 种算法修复图像的 SSIM 值进行对比, 分析 3 种算法的修复性能。

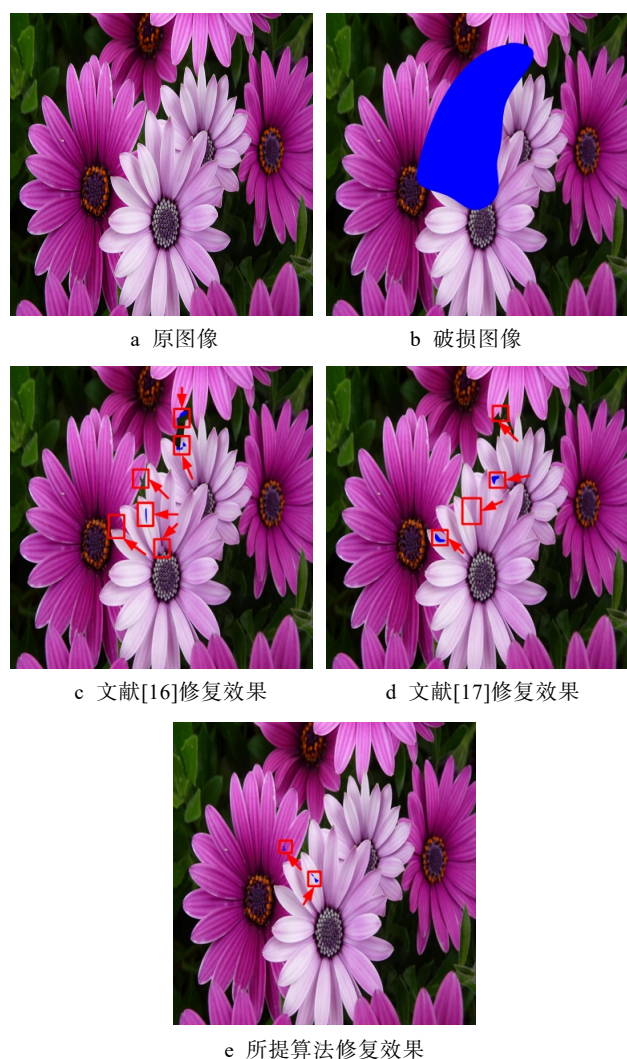


图 3 3 种算法对大面积破损图像修复效果
Fig.3 Repair effect of three algorithms on large area damaged images

3 种算法修复图像的 SSIM 值见图 6。通过图 6 可见, 所提算法修复图像的 SSIM 值高于其他 2 种算法修复图像的 SSIM 值。在破损程度为 50% 时, 所提算法修复图像的 SSIM 值为 0.9105。说明所提算法修复的图像具有较高的结构相似度, 修复图像的质量较高, 算法的修复性能较好。因为所提算法通过构造平滑度测量因子对最优匹配块的搜索区域进行定位, 使得搜索到的最优匹配块位于待修复块的邻域内, 提高了最优匹配块的准确度。另外所提算法还通过引入互相关系数函数, 用于对匹配块进行互相关性制约, 使得搜索到的最优匹配块不仅具有较高的近似度, 同时还具有较高的相关性, 使得算法的修复性能得以提高。文献[16]通过小波变换获取不同子图, 利用子图的颜色和结构信息计算匹配块数量及大小, 通过窄带优化随机查找方法获取最优匹配块, 实现修复。由于小波变换的方向性受限, 因此分解的子图中会丢失细节信息, 从而导致匹配块搜索存在较大误差, 使得算法的修复性能不理想。文献[17]通过正则化因子对优



图 4 3 种算法对复杂纹理小面积破损图像的修复效果
Fig.4 Repair effect of three algorithms on complex texture small area damaged images

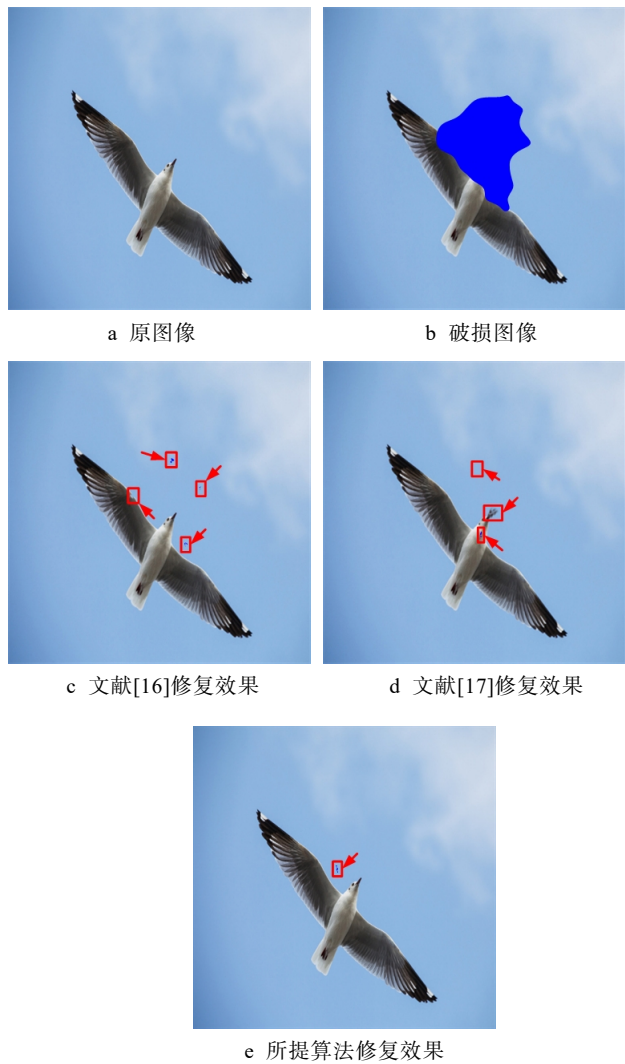


图 5 3 种算法对平滑纹理大面积破损图像的修复效果
Fig.5 Repair effect of three algorithms on smooth texture large area damaged images

表 1 不同算法对图 2—5 的修复图像对应的 PSNR 值测试结果

Tab.1 Test results of PSNR values corresponding to the restored images in Fig.2—5 by different algorithms

名称	PSNR 值/dB		
	文中算法	文献[16]	文献[17]
图 2	36.82	33.89	35.27
图 3	32.48	27.86	30.54
图 4	39.21	35.76	36.19
图 5	35.13	31.15	32.56

先权计算过程进行优化，并通过 SSE 模型与绝对差求和模型来搜索最优匹配块，完成修复。由于 SSE 模型与绝对差求和模型分别只是从颜色信息与距离信息对匹配块与待修复块进行了相似性度量，没有考虑图像块之间的互相关性，导致算法的修复性能有所下降。

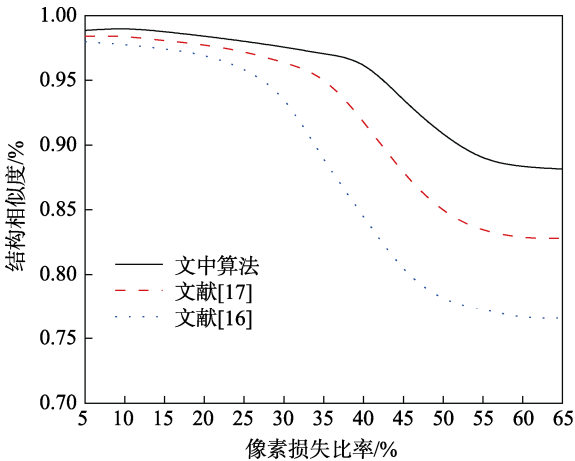


图 6 3 种修复图像的 SSIM 值
Fig.6 SSIM values of three kinds of restored images

3 结语

文中将图像的 Laplace 算子引入到优先权的计算过程，增加了优先权计算的信息丰富度，使得优先权计算更为准确合理。通过等照度线的二阶导数，构造平滑度测量因子，对最优匹配块的搜索区域进行了定位，使得所获最优匹配块位于待修复块的邻域中，提高了最优匹配块的准确度。利用 SSD 函数计算出匹配块与待修复块的相似度后，再通过互相关系数函数对匹配块与待修复块的互相关性进行度量，形成互相关制约的条件，最大可能地保证最优匹配块唯一性的同时，还能增强最优匹配块与待修复块的互相关性，进一步提高了最优匹配块的准确性。实验结果显示，所提算法修复图像的 SSIM 高于对照组图像修复算法，所修复的图像克服了连接间断以及振铃效应等不足，具有较好的质量。

参考文献：

[1] ALILOU V K, YAGHMAEEEE F. Non-Texture Image Inpainting Using Histogram of Oriented Gradients[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2017, 48(1): 43—53.

[2] 王林海, 肖晓红. 基于改进优先权的 Criminisi 图像修复算法的研究[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2018, 39(6): 44—48.

WANG Lin-hai, XIAO Xiao-hong. Research on Criminisi Image Restoration Based on Improved Priority[J]. Journal of Jinggangshan University (Natural Science Edition), 2018, 39(6): 44—48.

[3] 王毅, 李延雷, 胡大勇. 图像 Inpainting 技术原理及在包装印刷图像处理中的应用[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 102—103.

WANG Yi, LI Yan-lei, HU Da-yong. The Principle of Image Inpainting Technology and Its Application in

- Packaging Printing Image Processing[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(4): 102—103.
- [4] PRANANTA E, PRANOWO P, BUDIANTO D. GPU CUDA Accelerated Image Inpainting Using Fourth Order PDE Equation[J]. Telkomnika Telecommunication, Computing, Electronics and Control, 2016, 14(3): 1009—1015.
- [5] 何凯, 高俊俏, 卢雯霞. 基于改进置信度函数及匹配准则的图像修复算法[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2017, 50(4): 399—404.
HE Kai, GAO Jun-qiao, LU Wen-xia. Image Inpainting Algorithm Based on Improved Confidence Function and Matching Criterion[J]. Journal of Tianjin University(Science and Technology), 2017, 50(4): 399—404.
- [6] FAN Qian, ZHANG Li-feng. A Novel Patch Matching Algorithm for Exemplar-Based Image Inpainting[J]. Multimedia Tools and Applications, 2018, 77(9): 10807—10821.
- [7] 李敏, 刘悦. 紧密系数耦合非线性结构张量的图像修复算法研究[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(11): 3485—3488.
LI Min, LIU Yue. Image Inpainting Algorithm Based on Non-linear Structure Tensor Coupled Tightness Coefficient[J]. Application Research of Computers, 2016, 33(11): 3485—3488.
- [8] JVAHID A. Exemplar-Based Image Inpainting Using Svd-based Approximation Matrix and Multi-scale Analysis[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(5): 7213—7234.
- [9] HUANG Ying, LI Kai, YANG Ming. An Improved Image Inpainting Algorithm Based on Image Segmentation[J]. Advances in Information and Communication Technology, 2017, 107(1): 796—801.
- [10] LI F, LYU X. A Decoupled Method for Image Inpainting With Patch-based Low Rank Regularization[J]. Applied Mathematics & Computation, 2017, 314(1): 334—348.
- [11] GHORAI M, MANDAL S, CHANDA B. A Group-Based Image Inpainting Using Patch Refinement in MRF Framework[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2018, 27(2): 556—567.
- [12] CHEN Zhi-hua, DAI Chao, JIANG Lei-jiang. Structure-aware Image Inpainting Using Patch Scale Optimization[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2016, 40(A): 312—323.
- [13] SAPIRO G, CASELLES V. Histogram Modification via Differential Equations[J]. Journal of Differential Equations, 1997, 135(2): 238—268.
- [14] WANG Hai-xia, JIANG Li, LIANG Rong-hua. Exemplar-Based Image Inpainting Using Structure Consistent Patch Matching[J]. Neurocomputing, 2017, 269(1): 90—96.
- [15] VINH Q D, CUONG C P, JAE W J. Robust Adaptive Normalized Cross-correlation for Stereo Matching Cost Computation[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2017, 27(7): 1421—1434.
- [16] 廖斌, 苏涛. 基于窄带优化的自适应多匹配块随机查找图像修复[J]. 量子电子学报, 2017, 34(6): 656—661.
LIAO Bin, SU Tao. Adaptive Multiple Matched Patches Random Search Image Completion Based on Narrowband Optimization[J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2017, 34(6): 656—661.
- [17] JANARDHANA R B, CHAKRAPANI Y. Image Inpainting Method with Improved Patch Priority and Patch Selection[J]. IETE Journal of Education, 2018, 59(1): 26—34.
- [18] 李琪, 张欣, 张平康. 阈值稀疏自适应匹配追踪图像重构算法[J]. 小型微型计算机系统, 2018, 39(11): 2528—2532.
LI Qi, ZHANG Xin, ZHANG Ping-kang. Image Reconfiguration Algorithm Via Threshold Sparse Adaptive Matching Tracking[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2018, 39(11): 2528—2532.
- [19] JIANG Ling-ling, YIN Hai-qing. Wavelet Inpainting By Fractional Order Total Variation[J]. Multidimensional Systems and Signal Processing, 2018, 29(1): 299—320.