

基于邻域关联因子耦合信息度量规则的图像修复算法

常国锋¹, 许利军²

(1. 新乡学院 计算机与信息工程学院, 河南 新乡 453003;

2. 武汉理工大学 计算机学院, 湖北 武汉 430063)

摘要:针对当前图像修复算法忽略图像纹理信息的变化度而导致修复结果中存在间断及振铃效应等不足,提出了基于邻域关联因子与信息度量规则的图像修复算法。首先,将待修复块与其邻域块的归一化互相关值引入到优先权的计算中,以构造邻域关联因子,并将其与置信度以及数据项结合计算优先权,从而获取优先修复块。利用图像块对应的均值和方差特征,建立信息度量规则,根据纹理信息的变化度对样本块的大小进行调节。最后,引入误差平方和函数,对待修复块与匹配块的相似度进行测量,获取最优匹配块,利用最优匹配块中的像素点对待修复块进行填充,实现图像的修复。通过实验结果发现,所提算法具备更高的修复质量。

关键词:图像修复;邻域关联因子;优先权计算;信息度量规则;样本块;误差平方和函数

中图分类号:TP391

文献标志码:A

Image inpainting algorithm based on neighborhood correlation factor coupled with information metrics rule

CHANG Guofeng¹, XU Lijun²

(1. School of Computer and Information Engineering, Xinxiang College, Xinxiang, Henan 453003, China;

2. School of Computer Science, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei 430063, China)

Abstract: In order to overcome the deficiencies such as discontinuity and ringing effect in repair results induced by ignoring the variation of image texture information in current image inpainting algorithm, an image inpainting algorithm based on neighborhood correlation factor and information metrics rule was proposed in this paper. Firstly, the normalized cross-correlation values of the blocks to be repaired and their neighborhood blocks were introduced into the calculation of priority to construct the neighborhood correlation factor. This factor was then combined with confidence and data items to calculate the priority so as to obtain the priority repaired blocks. The information metrics rules were established using the mean and variance characteristics of image blocks, and the size of sample blocks was adjusted according to the variation of texture information. Finally, the error square sum function was introduced to measure the similarity between the repair block and the matching block, and the optimal matching block was obtained. The repair block was filled with the pixels in the optimal matching block to achieve image restoration. The experimental results show that the proposed algorithm has higher repair quality.

Key words: image inpainting; neighborhood correlation factor; priority calculation; information metrics rule; sample blocks; sum of squared differences

收稿日期:2019-03-12

基金项目:河南省自然科学基金项目(182300410258);河南省科技攻关项目(182102210494);河南省高等学校重点科研项目(15A520094)

作者简介:常国锋(1978—),男,河南濮阳人,副教授,硕士,主要从事图像处理、算法设计研究。

E-mail:changGfg1978xx@126.com

许利军(1978—),男,河南濮阳人,教授,博士,主要从事图像处理及模式识别研究。

数字图像已被应用于医学检测、教育科研以及航天探测等多个领域^[1]。虽然数字图像较传统纸质信息传递的媒介具有便于获取以及保存的特点,但在数字图像生成以及存储等环节都有可能造成数字图像信息的破损^[2-3]。由此,数字图像修复技术应运而生。图像修复是通过合适的信息,对破损内容进行填充,使得数字图像具有较好的视觉效果。

近年出现了较多图像修复方法。Fuchs 等^[4]对全变分模型进行分析,建立了高阶全变分模型,用于图像修复,但是这种方法不适用于受损面积较大图像的修复。Dai 等^[5]将分段函数应用于图像修复,通过其与数据项及置信度计算图像修复的顺序,利用 Sobel 算子替代梯度方向,对等照度线的计算方法进行改进,促进信息的融合,采用基于相似性识别受损区域附近样本的方法获取最优匹配块,修复受损区域。这种方法能够适应大、小面积损坏图像的修复,但在获取最优匹配块时,采用的是固定尺寸的样本块,没有考虑图像纹理信息的变化度,修复结果不理想。廖斌等^[6]通过对图像分解方法进行研究,利用小波变换对图像进行分解,求取子图信息,并通过子图的颜色和结构特点计算匹配块的需求,通过最小堆随机查找方法和窄带模型对图像进行修复。这种方法也能够适应大面积破损图像的修复,但由于小波变换对方向选择较为敏感,在图像分解时易丢失图像的细节信息,使得修复图像含有间断现象。Huang 等^[7]利用图像分割的方法来对破损图像进行修复,采用分水岭图像分割算法对图像进行分割,通过在数据项中引入反映纹理特征细节的曲率特征来计算优先级,在图像分割区域内搜索像素块的匹配,完成图像修复。图像分割方法避免了图像信息丢失,但这种方法将像素块的匹配块搜索范围限定在图像分割区域内,使得修复图像的整体视觉效果不佳。

为了改善损坏区域的修复效果,消除间断和振铃效应,本研究利用图像块的像素均值和方差,设计了一种新的图像修复算法。在计算待修复块的优先权时,考虑图像块之间的关联性,利用待修复块与其邻域块的归一化互相关值构造邻域关联因子,通过其与置信度以及数据项计算待修复块的优先权,获取优先修复块。在获取样本块尺寸时,考虑图像纹理信息的变化度,通过图像块对应的均值和方差信息建立信息度量规则,对样本块尺寸进行调节。通过误差平方和函数(sum of squared differences, SSD),在图像的整个已知区域,根据样本块大小,搜索与待修复块对应的最优匹配块,用于修复受损区域。最后,测试了所提算法的修复性能。

1 图像修复算法设计

如图 1 所示,算法由计算优先权、样本块调节以及获取最优匹配块三个部分组成,具体步骤如下:

1) 计算待修复块对应的邻域关联因子,联合数据项和置信度,构造优先权计算模型,从破损区域中选取优先修复块;

2) 计算优先修复块的像素均值以及灰度方差值,用以建立信息度量规则,对样本块的大小进行选择,选取适当的样本块大小;

3) 按照确定的样本块大小,对已知区域中的图像块以及优先修复块进行 SSD 计算,选取最小 SSD 值对

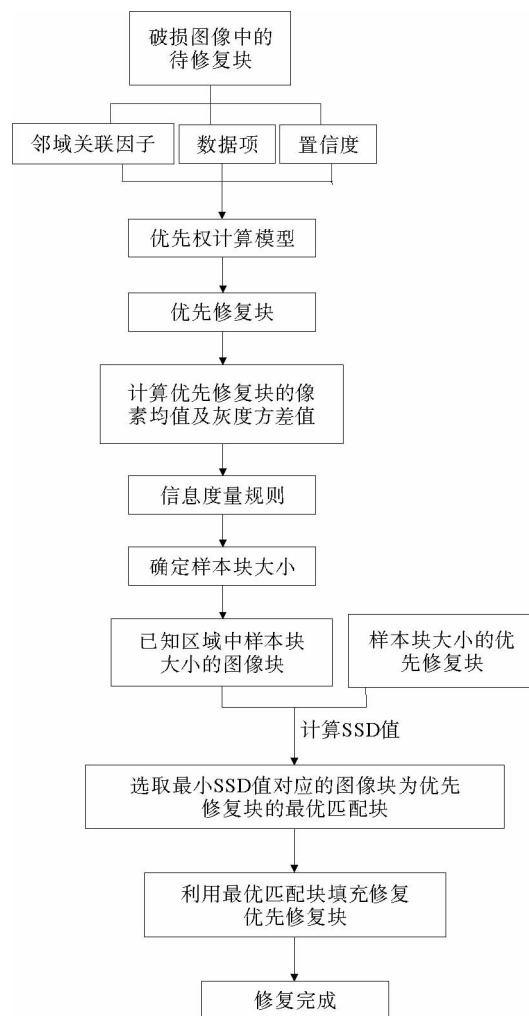


图 1 所提算法的修复过程

Fig. 1 Image inpainting process of the proposed algorithm

应的图像块作为优先修复块的最优匹配块。利用其内部的像素值对优先修复块进行填充,完成图像的修复。

1.1 计算优先权

对于破损区域为 θ ,已知区域为 ω , θ 与 ω 的边界线为 $\partial\theta$ 的破损图像I,Criminis算法中提出了通过置信项 $C(p)$ 和数据项 $D(p)$ 的乘积运算来计算待修复块优先权 $P(p)$ 的方法^[8]:

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

其中 p 为 $\partial\theta$ 上的一个待修复像素点。

令以 p 为中心的待修复块为 U_p ,其尺寸为 $s \times s$,则置信项 $C(p)$ 为:

$$C(p)=\frac{\sum_{q \in U_p \cap \omega} C(q)}{|U_p|}, \quad (2)$$

其中 $|U_p|$ 为 U_p 中已知像素点的总数。

数据项 $D(p)$ 为:

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

其中, ∇I_p^\perp 为 p 处的等照度线, n_p 为 p 处的单位向量, α 为归一化系数,不失一般性,设 $\alpha=255$ 。

虽然通过式(1)能够计算待修复块的优先权,但从(3)式可见,当 ∇I_p^\perp 与 n_p 处于垂直情况时,将导致 $D(p)$ 为0,此时无论 $C(p)$ 值多大,通过(1)式求取的优先权值都为0,这将使得优先权的计算过程不稳定,选取优先修复块出错,造成修复图像出现间断等不良现象。因此,本研究将通过待修复块与其邻域块的归一化互相关值来构造邻域关联因子,建立优先权计算模型,在保证优先权计算过程稳定的情况下,考虑待修复块与其邻域的关联性,使优先权的计算更合理和准确。

令 R_p 为 U_p 的同心邻域,其尺寸为 $4s \times 4s$, R'_p 为 R_p 与已知区域 ω 的相交部分, H_q 为以 R'_p 中像素点 q 为中心,与 U_p 同大小的图像块,则构造的邻域关联因子 $E(p)$ 为:

$$E(p)=\frac{\text{Area}(R'_p)}{\text{Area}(R_p)} \times \sum_{q \in R'_p} \exp(D(U_p, H_q)), \quad (4)$$

其中, $\frac{\text{Area}(R'_p)}{\text{Area}(R_p)}$ 为 R'_p 与 R_p 面积的比值, $D(U_p, H_q)$ 为 U_p 与 H_q 的归一化互相关值,其计算过程为^[9]:

$$D(U_p, H_q)=\frac{\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s (U_{p_{ij}} - \bar{U}_p)(H_{q_{ij}} - \bar{H}_q)}{\sqrt{\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s (U_{p_{ij}} - \bar{U}_p)^2 \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s (H_{q_{ij}} - \bar{H}_q)^2}}, \quad (5)$$

其中, $U_{p_{ij}}$ 与 $H_{q_{ij}}$ 分别表示 U_p 与 H_q 中的像素点, \bar{U}_p 与 \bar{H}_q 分别表示 U_p 与 H_q 的平均像素值。

由式(5)可见,当 U_p 与 H_q 的相关性越强时, $D(U_p, H_q)$ 的值也越大;此时由式(4)可见, $E(p)$ 的值也将越大。由此可见, $E(p)$ 反映了待修复块 U_p 与其邻域的关联性,且该关联性的大小与 $E(p)$ 的值成正比。

通过 $E(p)$ 构造的优先权计算模型为:

$$\bar{P}(p)=\beta C(p)+\delta D(p)+\gamma E(p), \quad (6)$$

其中, β, δ, γ 为权重系数,且 $0 \leq \beta, \delta, \gamma < 1, \beta + \delta + \gamma = 1$ 。

从式(6)可见,其对待修复块的优先权计算过程不会由于 ∇I_p^\perp 与 n_p 处于垂直而为0,使得优先权的计算过程更为稳定,同时其还将待修复块与邻域的关联性引入优先权的计算,使得选取的优先修复块更为合理。

1.2 样本块调节

样本块大小对修复图像的效果有重要的影响。所提算法是基于图像块的修复技术,样本块越大,在修复图像时就可以按照样本块大小,一次性修复更大的破损区域,对图像复原的效率越高;反之,图像块越小,则对图像复原的效率越低。对于单一纹理区域,其信息变化度较小,可以选择较大的样本块尺寸,以便缩短算法运行时间。对于纹理较为丰富的区域,其信息变化度较大,如果采用较大的样本块将导致该样本块内有多

种纹理信息,容易造成修复图像出现纹理间断以及振铃效应^[10]。对此,本研究通过对图像块的像素均值以及灰度方差进行度量,建立了信息度量规则,对样本块的大小进行调节。

令 b 为以像素点 i 为中心的图像块,其尺寸为 $w \times w$, i 的像素值为 g_i ,则该图像块对应的像素均值 $A(i, w)$ 与灰度方差值 $G(i, w)$ 分别为^[11]:

$$A(i, w) = \frac{1}{w^2} \sum_{i=1}^{w^2} g_i, \quad (7)$$

$$G(i, w) = \frac{1}{w^2} \sum_{i=1}^{w^2} (g_i - A(i, w))^2. \quad (8)$$

样本块的纹理信息变化与样本块的像素均值以及灰度方差值有关,可通过相邻两个样本块的像素均值以及灰度方差来建立信息度量规则,对相邻样本块的信息变化度进行度量,从而实现样本块大小的调节,如图 2 所示。该信息度量规则的实现过程如下:

1) 设立样本块初始大小为 $w \times w$,通过式(7)和式(8)分别计算其像素均值 $A(i, w)$ 与灰度方差 $G(i, w)$;

2) 将该样本块向外扩大两个像素,扩展成 $(w+2) \times (w+2)$,并利用式(7)和式(8)分别计算其像素均值 $A(i, w+2)$ 与灰度方差 $G(i, w+2)$,计算扩展大小后样本块与扩展前样本块的像素均值之差 $\Delta A(i, w, w+2)$ 及灰度方差 $\Delta G(i, w, w+2)$;

$$\Delta A(i, w, w+2) = |A(i, w) - A(i, w+2)|, \Delta G(i, w, w+2) = |G(i, w) - G(i, w+2)|. \quad (9)$$

3) 将 $\Delta A(i, w, w+2)$ 与 $\Delta G(i, w, w+2)$ 分别与均值阈值 ϵ 和方差阈值 φ 进行比较。若 $\Delta A(i, w, w+2) < \epsilon$ 且 $\Delta G(i, w, w+2) < \varphi$,则表示扩展大小后样本块的信息变化度不大,样本块大小扩展成功,此时设置 $w = w+2$ 。若 $\Delta A(i, w, w+2) \geq \epsilon$ 或 $\Delta G(i, w, w+2) \geq \varphi$,则表示扩展失败,样本块大小仍为 w 。迭代该过程直到确定样本块大小为止。

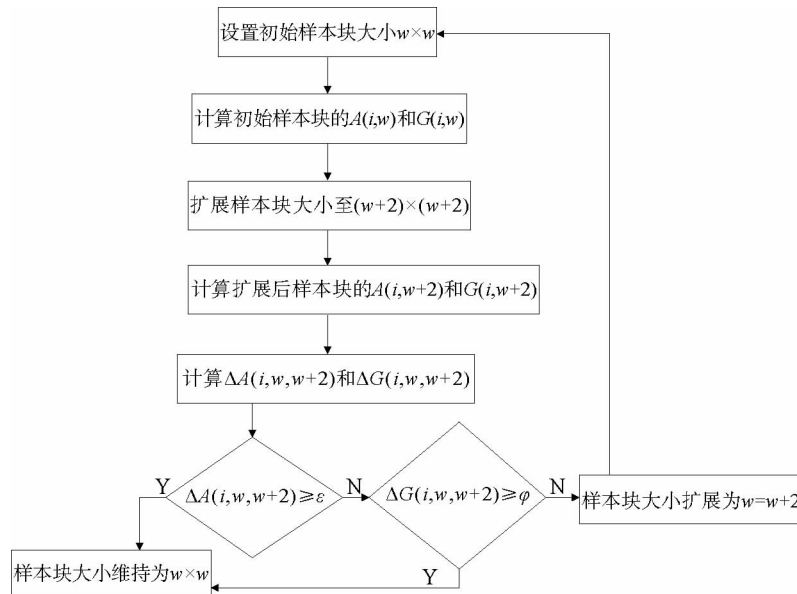


图 2 样本块大小调节过程图

Fig. 2 Size adjustment procedure of sample blocks

1.3 获取最优匹配块

从样本块大小调节的过程可知,所用图像块初始大小为 $w \times w$,最终图像块大小是需要根据信息度量规则所确定的。确定样本块大小后,以该大小在破损图像的已知区域内寻找与待修复块相似度最高的最优匹配块,用以对待修复块进行填充修复。通过误差平方和函数对待修复块与匹配块中像素点的 RGB 差值进行计算以获取最优匹配块,是一种较为常用的方法,在此将采用该方法获取最优匹配块。

SSD 函数搜寻最优匹配块的过程为^[12]:

$$\bar{T}_q = \operatorname{argmin} \operatorname{SSD}(U_p, T_q), \quad (10)$$

其中 SSD 函数为:

$$\operatorname{SSD}(U_p, T_p) = \sum_{a \in U_p} \sum_{v \in T_p} \sqrt{(R(a) - R(v))^2 + (G(a) - G(v))^2 + (B(a) - B(v))^2}, \quad (11)$$

$R(\cdot)$ 、 $G(\cdot)$ 、 $B(\cdot)$ 分别表示像素点的 RGB 值。

从(10)式可见,其通过(11)式求取已知区域中所有样本块大小的匹配块 T_q 与待修复块 U_p 的 SSD 值,将最小 SSD 值对应的匹配块视为最优匹配块 \bar{T}_q ,用以填充待修复块。

2 实验结果

在 Intel 酷睿双核,4GBRAM 的计算机上,利用 MATLAB 2014 作为软件进行实验,对算法进行实验测试,测试结果与文献[13-14]中所用方法进行对比。实验测试目标均选择纹理结构丰富的图像,再对其进行不同程度的破损操作,随后分别利用不同方法对小面积以及大面积破损图像进行修复测试,以验证不同方法的修复性能。实验过程中的相关参数为 $\beta=0.5$, $\delta=0.3$, $\gamma=0.2$, $w \times w = 3 \times 3$, $\epsilon=6$, $\varphi=3$ 。按照如下实验过程进行修复测试:

1) 利用式(4)计算待修复块的邻域关联因子,分别联合式(2)和式(3)来计算损坏子块的置信度和数据项,以此形成优先权计算模型式(6),根据式(6),破损区域中选取优先修复块;

2) 通过式(7)、式(8)分别计算优先修复块的像素均值以及灰度方差值,形成建立信息度量规则,按照图 2 所示流程对样本块的大小进行选择,选取适当的样本块大小;

3) 按照确定后的样本块大小,利用式(11)对已知区域中的图像块以及优先修复块进行 SSD 计算,并根据式(10)选取最小 SSD 值对应的图像块,将其作为优先修复块的最优匹配块。利用其内部的像素值对优先修复块进行填充,完成图像修复。若破损图像为黑白图像,则可将式(11)中的 R、G、B 值更换成图像的灰度值,然后再通过式(10)选取最小 SSD 值对应的图像块,求取最优匹配块,对图像进行修复:

$$\operatorname{SSD}(U_p, T_p) = \sum_{a \in U_p} \sum_{v \in T_p} \sqrt{(G(a) - G(v))^2}, \quad (12)$$

式中 $G(\cdot)$ 表示像素点的灰度值。

采用文献[13]、[14]和本文方法分别对小面积破损图像的修复结果如图 3 所示。对比图 3 中的修复结果可发现,图 3(c)的修复结果中含有多处修复不完全以及间断现象,图 3(d)的修复结果中含有较为严重的模糊现象与块效应,图 3(e)的修复结果中不存在修复不完全以及间断现象,仅有一处轻微模糊现象。

图 4 为不同方法对遮蔽物大面积破损图像的修复结果。通过修复结果可见,文献[13]方法修复的结果中含有边缘间断现象以及振铃效应,文献[14]方法修复的结果中含有块效应和修复不完全现象,本文方法修复的结果中仅存一处些许块效应。

不同方法对黑白破损图像的修复结果如图 5 所示。对比修复结果可见,文献[13]方法的修复结果中含有修复不完全以及间断现象,文献[14]方法的修复结果中含有振铃以及间断现象,本文方法的修复结果中仅存一处轻微修复遗留现象。

不同方法对老照片破损图像的修复结果如图 6 所示。从图 6 可见,文献[13]方法的修复结果中含有模糊以及块现象,文献[14]方法的修复结果中含有间断以及修复残留现象,本文方法的修复结果中仅存一处轻微模糊现象。

不同方法对文字大面积破损图像的修复结果如图 7 所示。通过修复图像的整体效果可见,文献[13-14]方法及本文方法的修复效果都还好,但将不同方法的修复区域进行放大可见,文献[13]方法的修复区域含有模糊及修复不完全现象,文献[14]方法的修复区域含有振铃及间断现象,本文方法的修复区域仅有轻微模糊现象。由此可见,本研究所提方法修复的图像具有较好的视觉效果,图像的边缘及纹理连续性较好。因为所提方法通过待修复块与其邻域块的归一化互相关值构造了邻域关联因子,通过其构造了优先权计算模型,在优先权计算过程中考虑了待修复块与其邻域的关联性,使得优先权计算更稳定和合理,同时所提方法还利用

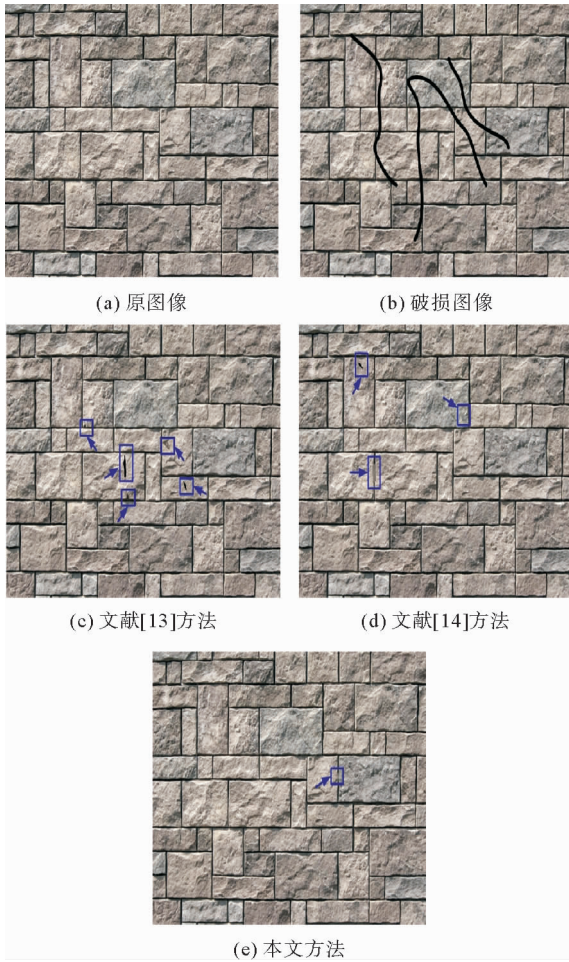


图3 不同方法对小面积破损图像修复结果

Fig. 3 Inpainting results of images with small area of damage with different methods

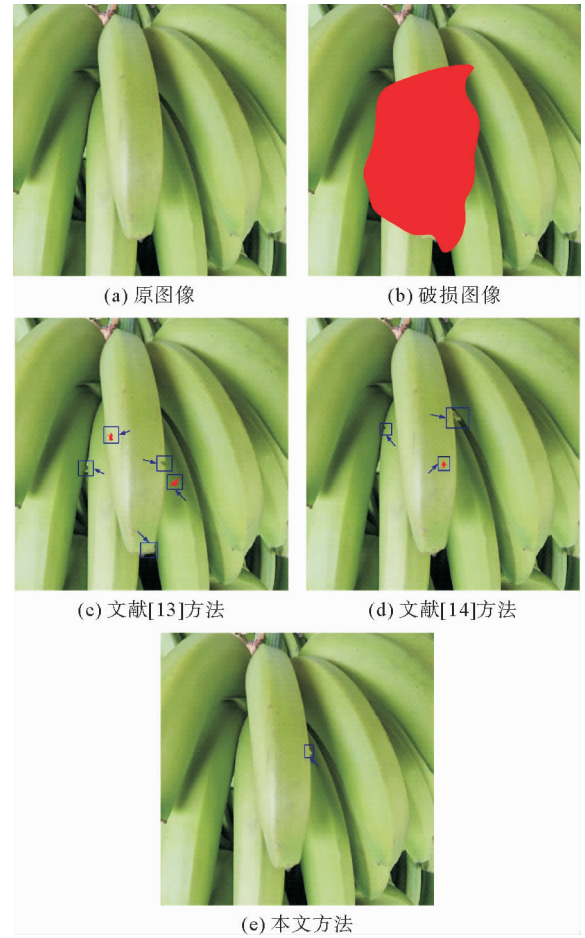


图4 不同方法对遮蔽物大面积破损图像修复结果

Fig. 4 Inpainting results of shelter images with large area of damage with different methods

图像块的像素均值以及灰度方差值,建立了信息度量规则,通过对图像块的信息变化度进行计算,获取合适大小的样本块,适应图像中不同的纹理变化,提高了算法修复图像的质量。

为了进一步对所提方法的修复性能进行测试,选用图4(a)作为测试图像,将其进行不同程度的损坏,然后利用不同方法对损坏图像进行修复,并对不同方法修复图像的结构相似度(SSIM)和修复平均耗时进行对比,以分析不同方法的修复性能。SSIM反映了修复图像与原图像在结构上的相似程度,是图像修复算法测试过程中常用的数值测量指标,其值的大小与修复图像质量的好坏成正比^[15]。

图8展示了不同方法修复图像的SSIM结果,对比SSIM值可见,本文方法修复图像的SSIM值一直最大;不同方法对损坏度为45%的破损图像进行修复后,文献[13]、[14]方法以及本文方法修复图像的SSIM值分别为0.835、0.899以及0.954。不同方法的修复平均耗时如表1所示,发现文献[14]具有最高的修复效率,平均耗时最少,仅为3.73 s。本方法同样具有较为理想的修复效率,平均耗时为3.92 s,与文献[14]较为接近。由此说明,本研究方法同时具有较高的修复性能与效率。原因在于通过建立信息度量规则对相邻样本块的信息变化度进行度量,根据信息变化度的大小,对样本块的尺寸进行调节,使得样本块大小能够适应信息变化的剧烈程度。虽然采用动态的样本块尺寸需要一个迭代过程,一定程度上增加了算法的计算量,但本文算法仍然属于基于块的修复技术范畴,在对图像进行较好修复的同时还具备较高的修复效率。另外,通过引入SSD函数,在整个已知区域中对待修复块与匹配块中像素点的RGB差值进行计算,寻找与待修复

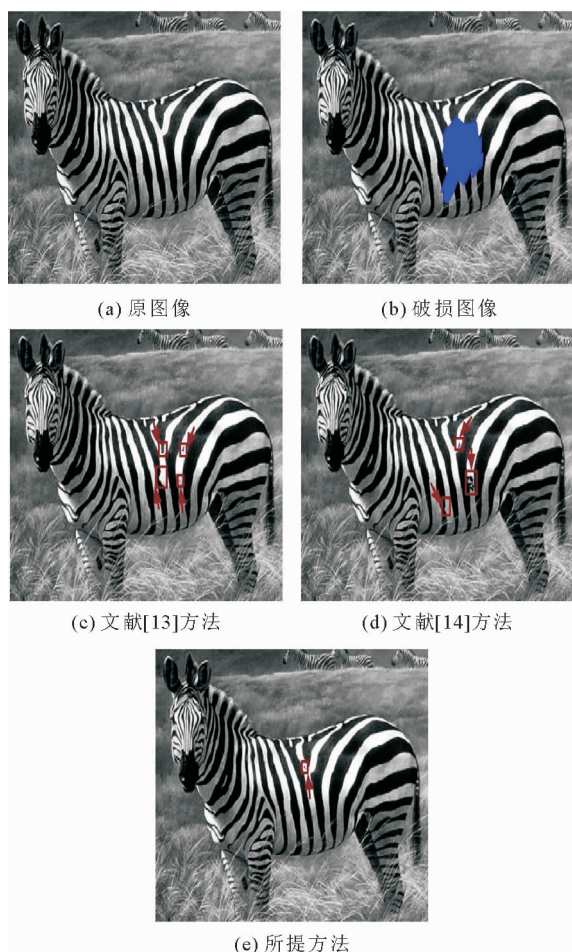


图5 不同方法对黑白破损图像修复结果

Fig. 5 Inpainting results of damaged black-and-white images with different methods



图6 不同方法对老照片破损图像修复结果

Fig. 6 Inpainting results of damaged old photos with different methods

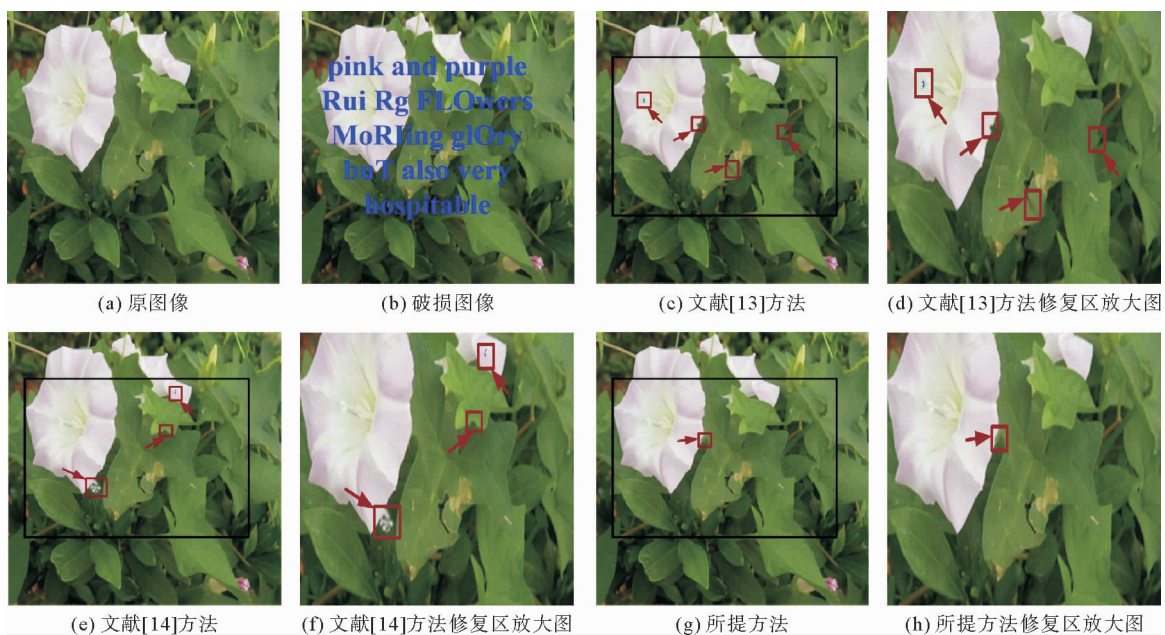


图7 不同方法对文字大面积破损图像修复结果

Fig. 7 Inpainting results of word image with large area of damage with different methods

块最为相似的匹配块作为最优匹配块,对待修复块进行填充修复,保证了填充修复内容的正确性,提高了修复性能。文献[13]中设计了图像修复所需的自适应变分泛函,构造了一种稳定的变分格式,并计算了最小泛函解的存在性和唯一性,通过泛函导出了四阶偏微分方程,并通过其对应的离散形式完成像素扩散,实现图像修复。由于偏微分方程不适应大面积损坏图像的修复,且这种像素扩散并非基于块的修复方法,需要遍历整个图像的像素,增加了算法的计算量,导致效率不佳。文献[14]利用空间变化方法对置信项进行更新,并通过匹配置信项的方法计算待修复块的优先权值,获取优先修复块,利用快速傅立叶变换搜索与待修复块最为匹配的最佳匹配块,以完成图像修复。该方法中搜索最佳匹配块时,采用了固定尺寸的样本块,虽然可以避免反复的迭代过程,提高修复效率,但忽略了图像的信息变化度,使得算法不能够较好地适应图像的不同纹理结构,导致修复性能有所下降。

3 结论

本研究利用待修复块与其邻域块的归一化互相关值构造邻域关联因子,构造了优先权计算模型,优先权的计算过程中考虑了待修复块与其邻域的关联性,优先权的计算更为稳定和准确。同时,所提方法还利用图像块对应的均值和方差信息建立了信息度量规则,根据度量结果对样本块的大小进行调整,获取合理的样本块大小。引入 SSD 函数对待修复块与匹配块中像素点的 RGB 差值进行计算,在已知区域中获取最优匹配块,完成图像修复。通过实验可见,所提方法修复的图像具有较好的视觉效果和较好的结构相似度,说明所提方法具有较好的修复性能。

参考文献:

- [1]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.
- [2]YANG X H,GUO B L.Fractional-order tensor regularization for image inpainting[J].IET Image Processing,2017,11(9):734-745.
- [3]屠昕,钮圣斌,陈更生.一种基于分水岭分割的快速图像修复算法[J].复旦学报(自然科学版),2017,56(1):57-70.
TU Xin,NIU Shengxiao,CHEN Gengsheng.A fast inpainting method based on watershed segmentation[J].Journal of Fudan University (Natural Science),2017,56(1):57-70.
- [4]FUCHS M,MUELLER J.A higher order TV-type variational problem related to the denoising and inpainting of images[J].Nonlinear Analysis:Theory Methods & Applications,2017,154(1):122-147.
- [5]DAI L,JIANG D L,DING B.Improved digital image restoration algorithm based on Criminisi[J].Journal of Digital Information Management,2016,14(5):302-310.

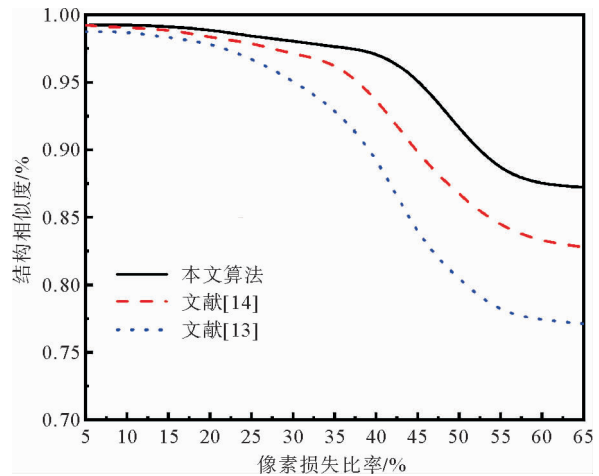


图8 不同方法修复图像的 SSIM 结果

Fig. 8 SSIM results of image inpainting by different methods

表1 不同算法的修复平均耗时

Tab. 1 The average time of image inpainting by different methods

算法	修复平均耗时/s
文献[13]算法	4.45
文献[14]算法	3.73
所提算法	3.92

- [6]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.
- [7]HUANG Y,LI K,YANG M.An improved image inpainting algorithm based on image segmentation[J].Procedia Computer Science,2017,107(1):796-801.
- [8]郑玉婷,吴谨.基于蚁群算法的 Criminisi 图像修复[J].红外技术,2017,39(3):221-225.
ZHENG Yuting,WU Jin.The Criminisi algorithm based on ant colony optimization for image inpainting[J].Infrared Technology,2017,39(3):221-225.
- [9]DINH V Q,PHAM C C,JEON J W.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.
- [10]RAJESH P B,SANJIV V B.Image restoration using prioritized exemplar inpainting with automatic patch optimization[J].Journal of the Institution of Engineers;Series B,2017,98(3):311-319.
- [11]DUAN J M,PAN Z K,ZHANG B C.Fast algorithm for color texture image inpainting using the non-local CTV model[J].Journal of Global Optimization,2015,62(4):853-876.
- [12]LIU W,ZHANG D H,CUI M Y.An enhanced depth map based rendering method with directional depth filter and image inpainting[J].The Visual Computer,2016,32(5):579-589.
- [13]LI S J,YANG X H.Novel image inpainting algorithm based on adaptive fourth-order partial differential equation[J].IET Image Processing,2017,11(10):870-879.
- [14]WANG H X,JIANG L,LIANG R H.Exemplar-based image inpainting using structure consistent patch matching[J].Neurocomputing,2017,269(1):90-96.
- [15]MIRKAMALI S S,NAGABHUSHAN P.Object removal by depth-wise image inpainting[J].Signal,Image and Video Processing,2015,9(8):1785-1794.

(责任编辑:傅 游)