

文章编号: 1004-9037(2011)06-0626-05

一种基于样本块的快速图像修复算法

胡文瑾^{1,2} 王维兰¹ 刘仲民²

(1.西北民族大学数学与计算机科学学院,兰州,730030;

2.兰州理工大学电气工程与信息工程学院,兰州,730050)

摘要:分析了 Criminisi 等人提出的基于样本块的图像修复算法,针对其不足,提出一种改进的基于样本块的快速图像修复方法。引入新的度量函数更新置信度,使优先级的计算更加准确;待匹配块的再筛选策略降低了选择最佳匹配块的随机性;已修复样本块邻域检测避免了全局范围内寻找破损边缘。实验结果表明:该方法取得了较好的修复效果,同时提高了算法的效率。

关键词: 图像修复;置信度;最佳匹配块;破损边缘

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

Improved Exemplar-Based Method for Image Inpainting

Hu Wenjin^{1,2}, Wang Weilan¹, Liu Zhongmin²

(1. School of Math and Computer Science, Northwest University for Nationalities, Lanzhou, 730030, China;

2. College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, 730050, China)

Abstract In view of the deficiency in exemplar-based image inpainting algorithm, proposed by Criminisi and later researcher, a new exemplar-based image inpainting fast algorithm is presented. The new method is introduced to compute confidence term when a damaged block is repaired, which can improve the priori computation precision. Re-selection strategy is adopted to avoid random selection of optimal exemplar. Furthermore, a damaged front searching method within the adjacent region of repaired block is used to narrow the search area of the sample graph to improve the search precision and efficiency. Experimental results show that the proposed method achieves better inpainting effect and efficiency and saves the need of the damaged front selection.

Key words image inpainting; confidence term; optimal exemplar; damaged front

引 言

图像修复是针对图像上信息缺损或毁坏的部分,利用未被损坏的图像信息,按照一定规则进行信息填充的过程,它在文物保护、影视特技制作、老照片修复、对象剔除(图像中文本的去、障碍物的去除)等方面,有很高的应用价值。

基于块的纹理合成^[1-3]是图像修复中一类型算法,这类算法的主要思想是从待修补区域边界选取一点,以该点为中心,根据图像的纹理特征选择

合适的模板大小,从未破损区域寻找与之最相似的匹配块,来替代该纹理块。该算法能修补较大的破损区域,对纹理图像有较好的修复效果。Criminisi^[2]给出的大量比较实验表明,该算法在时间和视觉效果上都取得了较好的效果,由此大量研究者开始研究 Criminisi 算法。文献 [4]提出的基于纹理合成的快速自适应自然图像修复算法,从待修复块的优先级计算、寻找纹理匹配块的搜索范围、纹理块大小的自适应选取等方面着手,有效地改善了图像修复的视觉效果。文献 [5]发现随着填充的进行,置信度值迅速下降,使优先权的计算不可靠,导致错

基金项目: 国家自然科学基金(61162021)资助项目;甘肃省科技计划(096RJZA112)资助项目;文化部科技创新(文科技函(2011)820号)

收稿日期: 2010-11-23;修订日期: 2011-04-10

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

误的填充次序,从而影响修补效果。为此给出了一个更合理的优先权函数,用来保证图像结构和纹理的正确填充,取得了一定的效果。文献 [6-7] 从优先级的计算、模板大小的选择、搜索策略进行改进,取得了良好的效果。

本文提出一种基于样本块的快速图像修复算法。采用新的置信度更新算法对已修复的点可靠程度进行计算,从而将修复点和已知像素点的可靠性相区别,同时避免了较强边缘持续优先处理;新的最佳匹配块选择策略,解决了当存在多个近似匹配块时算法选择的不确定性;通过对已修复样本块邻域的检测来提取破损图像的边缘,减少了每次寻找破损边缘、计算其优先级的代价,提高了算法的效率。

1 基于样本块的图像修复算法

Criminisi 等人提出了一种基于样本块的图像修复算法,该算法包括以下几个步骤。

(1) 计算修复块的优先权

设输入图像已知区域 H ,待修补区域 K ,边界为 ∂K ,如图 1 所示。 p 为破损区域边缘上点,对于给定中心在 p 点的修复块 J_p ,优先权 $P(p)$ 定义如下:
 $P(p) = C(p)D(p)$ 。优先权 $P(p)$ 的值综合反映了待修复块的置信度和结构强弱,由此来决定图像修复顺序。其中置信度 $C(p)$ 衡量 p 处信息可靠程度;数据项 $D(p)$ 反映目标结构信息的强弱,分别定义如下

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in J_p \cap (I-K)} C(q)}{|J_p|}$$

$$D(p) = \frac{|\nabla I_p^+ \cdot n_p|}{T}$$

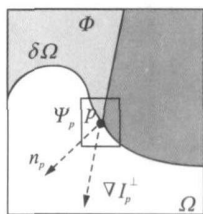


图 1 修复示意图

(2) 搜索最佳匹配块并填充

计算 ∂K 上所有点的优先权,得到优先权最高的待修补块 J_p ,然后在已知区域中找与 J_p 最为相似的样本块 J_q ,即满足 $J_q = \operatorname{argmin}(d(J_p, J'_q))$,其中 $d(J_p, J'_q)$ 表示 J_p 和 J_q 的相似度,定义为 $d(J_p,$

$$J'_q) = \sum_{i=1}^m (v_{ip} - v_{iq'})^2$$

将其值拷贝到待修复块,

从而完成一次修复。

(3) 更新置信度

当 J_p 中未知区域填充完后,更新 J_p 内像素点的置信度。

2 改进算法

2.1 置信度更新

置信度 $C(p)$ 表示 J_p 中包含已知信息的多少,但是随着修复的进行,最佳匹配块信息的拷贝,简单的认为修复的点和已知的像素点具有相同的可靠性是不合理的^[7-8]。因为 J_p 中各已知像素点的值和 J_q 中对应位置处的值之间存在误差,这些带有误差的值又作为其他未知点的已知信息,随着修补进行而传递下去,如图 2 所示。

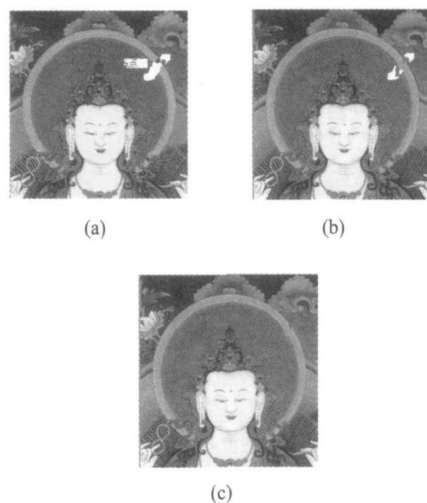


图 2 采用 Criminisi 方法对破损区域填充的中间过程

图 2(a) 中 p 点处于修补区与原图像中强边缘的交汇处,计算得该点优先级最高,修复该点后,并将 J_p 范围内的点置信度置为 1 重新计算新边界轮廓上点的优先级,由于其线状结构强,因此该目标块继续优先处理。最终修复结果出现图 2(c) 所示情况,显然和人的主观预测存在差异。

在此引入了新的更新策略。

$$C(p) = \begin{cases} 1 & d(J_p, J_q) < 2a \\ 1/\log_2^a(d(J_p, J_q)) & \text{其他} \end{cases}$$

$$\forall p \in J_p \cap K$$

这里,填充后新的置信度 $C(p)$ 的值介于 0 到 1 之间,当待修补块 J_p 与匹配样本块 J_q 极为相似时, $C(p)$ 值为 1;否则根据 $d(J_p, J_q)$ 值更新 $C(p)$,使得与 J_p 相似时具有较高的置信度。其中 a 的取值和模板大小成正比。在修复的过程中随着像素置信度 $C(p)$ 的变化,公式一方面利用上次修复的最

佳匹配值对已修补块的可靠性进行评价,从而将修复的点和已知的像素点相区别,以便更符合人们的期望;另一方面新的 $C(p)$ 更新策略进一步影响优先级的计算,一定程度上避免了对较强边缘的持续优先处理

2.2 最佳匹配块的选择

传统寻找最佳匹配块的过程中,当最佳匹配块出现多个时,修复随机选择某一个作为样本块,若选择不当,会产生修复效果不佳的情况。事实上,与 J_p 最为相似的多个候选样本块中,等照度方向与 p 点等照度线方向交角越小表示两者越相似;此外,根据修复区域中像素的灰度或者颜色信息,必须与周围的颜色相协调^[9]的原则,即与 J_p 距离越近对 J_p 的贡献越大。

本文在文献[2]基础上,根据 SSD 原则选择出 m 个与目标块最相似的候选样本块 $J_q^i (1 \leq i \leq m)$, 则最佳匹配样本块 J_q 满足 $J_q = \operatorname{argmin}(D_{pq} * A_{pq} d(J_p, J_q^i))$, 其中 D_{pq} 表示 J_p 点与 J_q^i 点的几何距离,为了计算方便,采用曼哈顿距离; A_{pq} 表示 p 点等照度线与 q 点等照度线的交角

2.3 破损边缘的计算

文献[2]在完成一次修复后,全局范围内重新寻找破损边缘,计算边缘点的优先级。事实上,每一次修复后,只有 J_p 周围像素点的破损情况及其优先级发生了变化,其余边缘点不变。 J_p 周围像素点发生以下几种变化(本文采用外边缘来表示破损区域的边缘): (1)点 p 由破损点变成边界点; (2)点 p 仍然是边界点,只是优先级发生了变化; (3)点 p 由边缘点变成了非边缘点。因此,本文构造三个数组:破损图像边缘点组成的数组 pp , 执行一次修复后边缘点数组 $border$ 以及非边缘点数组 $noborder$ 。 J_p 邻域检测算法如下:

(1)判断修复点 J_p 邻域(若模版大小 $N \times N$, 则邻域大小为 $(N+1) \times (N+1)$)内的点是否是边缘点,若是边缘点插入到 $border$, 否则插入到

$noborder$ 数组中。

(2)对 pp 执行一次扫描,若某点只出现在 $border$ 中(情况 1),将其从 $border$ 删除,计算该点优先级,插入到 pp ; 若某点既出现在 pp 中又出现在 $border$ 中(情况 2),将其从 $border$ 删除,计算优先级更新 pp ; 若某点既在 pp 中又在 $noborder$ 中(情况 3),从 pp 中将其删除

(3)清空 $noborder$, 计算 $border$ 中剩余点优先级并插入到 pp 中。

3 改进模型的计算流程

(1)寻找破损区域 K , 得到边界 ∂K , 计算边界点优先级,将其保存在 pp 中;

(2)若 pp 个数为 0, 程序结束, 否则根据优先级对 pp 中的元素排序;

(3)取 pp 中优先级最高的目标块 J_p ;

(4)在已知区域寻找与目标块最匹配的 m 个候选样本块 $J_q^i (1 \leq i \leq m)$, 则 J_q 满足

$$J_q = \operatorname{argmin}(D_{pq} * A_{pq} + d(J_p, J_q^i))$$

(5)将最佳样本块 J_q 复制到目标块 J_p ;

(6)修改 J_p 内像素点的置信度;

(7) J_p 邻域检测, 程序跳转到步骤(2)

4 实验和分析

本算法以 VC++ 6.0 为平台, 在微机 (Intel Pentium 4 CPU 2.40 GHz, 内存为 512 MB 的硬件配置) 上实现。图(3, 4)中 (a) 是存在缺损信息的图像 (图中白色区域是待修复区域, 以下同), 实验中模板大小为 $5 \times 5, a = 5, m = 10$

实验 1 破损区域修复 (图 3)。图 3(b) 采用文献[2] 修复结果, 边缘附近存在错误的修复, 在树叶筋络处细节丢失, 模糊; 图 3(c) 采用本文改进置信度算法, 边缘保持较好, 但是树叶筋络断裂没有很好连通; 图 3(d) 为本文算法, 边缘保持较好, 树叶筋络也完全恢复, 几乎看不出修复痕迹。图 4 进一步验证算法的性能

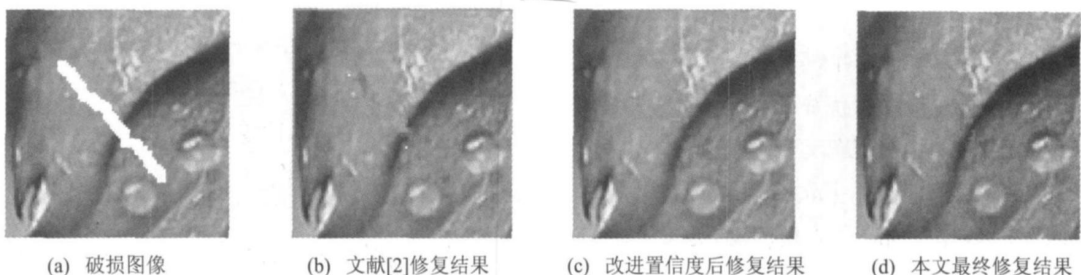


图 3 实验 1, 破损区域修复

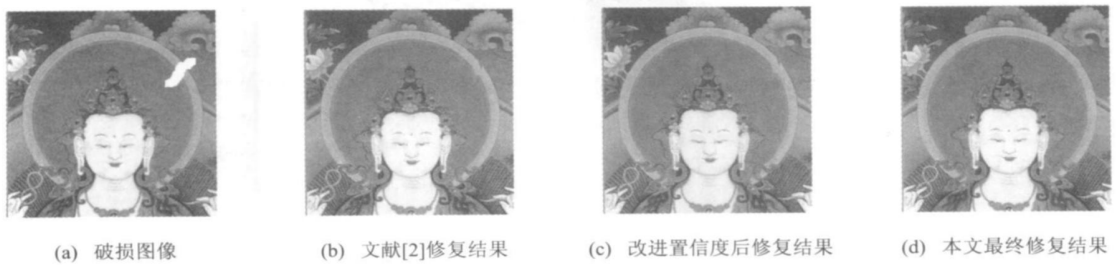


图 4 实验 1,破损区域修复

实验 2 不同文献置信度更新比较(图 5)。仔细观察图 (b)~(d),图 (c, d)效果较 (b)好。比较文献 [8]和本文的更新方法,文献 [8]采用幂指数求置信度使得其值变化剧烈并且较小,随着填充进行加剧了置信度的迅速降低,而本文的函数具有较好的性能。

实验 3 目标移除(图 6)。图 (a)为原始图像,需要移除图像中的动物。观察图 (c)和 (d)发现图 (c)出现了一些新边界轮廓,不符合人们认识,产生上

述错误的原因是文献 [2]在修复一个目标块形成新的边缘后,新边界轮廓上与刚填充目标块相连接的目标块由于其优先级高于其他边缘点的优先级,使得其优先修复。而本文采用新的置信度更新规则,降低了该目标块的优先级,因而具有较好的视觉效果。

表 1进一步给出了本文算法和文献 [2]算法所用时间的比较,可以看出:在不降低修复质量的同时,本文算法比文献 [2]要快

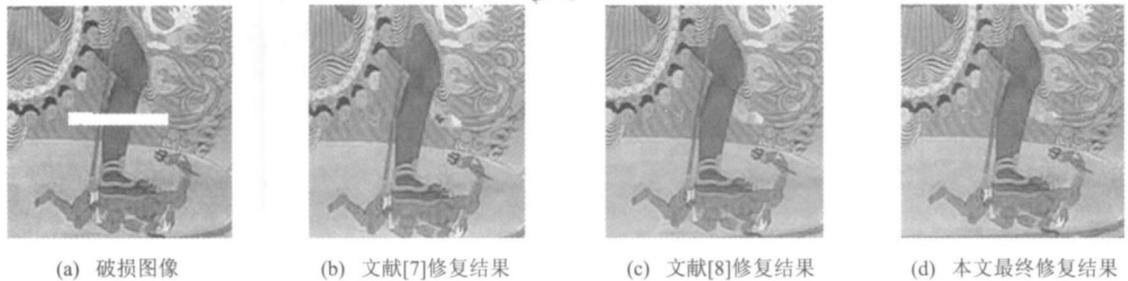


图 5 实验 2,破损区域修复

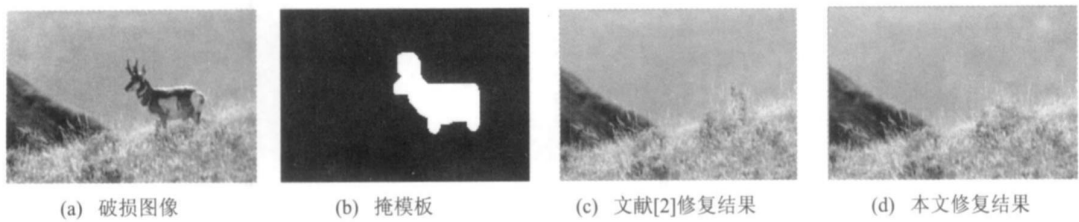


图 6 实验 3,目标移除

表 1 本文算法和文献 [2]算法所用的时间

原始图像大小	去除率(目标区域大小/整幅图大小) %	Criminisi 算法所用时间 /s	本文算法所用时间 /s
100× 100	3.89(389/10 000)	3	2
230× 244	0.88(495/56 120)	8	7
192× 128	8.44(2 074/24 576)	15	13

5 结束语

本文主要是在基于样本块的图像修复算法上进行改进和完善。在修复过程中,新的置信度更新

准则根据上次修复的最佳匹配值对已修补块的可靠性进行评价,既将修复点和已知像素点相区别,符合人们的期望,又影响优先级的计算,一定程度上避免了对较强边缘的持续优先处理,使修复顺序

的选择更加合理。同时改进了匹配策略,解决了最佳相似匹配块出现多个时,选择样本块的随机性。此外,对已修复块邻域破损边缘的判断减少了每次全局寻找边缘,计算优先级的代价,提高了算法的效率。实验结果表明了改进算法的优越性。

参考文献:

- [1] Drori I, Daniel C O, Hezy Y. Fragment based image completion [J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 303-312.
- [2] Criminisi P P, Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting [J]. IEEE, Trans Image Processing, 2004, 13(9): 1200-1212.
- [3] Wang Shu-gen, Zheng Jing-ling. Image inpainting for information lost area based on the texture matching approach [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2004(12): 21-23.
- [4] 张红英. 数字图像修复技术的研究与应用 [D]. 成都: 电子科技大学通信与信息工程学院, 2006.
- [5] Cheng W H, Hsieh C W, Lin S K, et al. Robust algorithm for exemplar-based image inpainting [C]// The International Conference on Computer Graphics, Imaging and Vision (CGIV 2005). Beijing, China [s. n.], 2005: 64-69.
- [6] Tang F, Ying Y T, Wang J, et al. A novel texture synthesis based algorithm for object removal in Photographs [C]//Ninth Asian Computing Science Conference. Chiang Mai, Thailand [s. n.], 2004: 248-258.
- [7] 卢小宝, 王维兰. 基于样本块的破损唐卡图像修复算法的改进 [J]. 计算机应用, 2010, 30(4): 943-946.
- [8] 杨秀红, 王慧琴, 李苏莉. 基于自适应模板和置信度更新的图像修复算法 [J]. 电子科技, 2009, 22(12): 69-72.
- [9] Bertalmio M, Sapiro G, Caselles V, et al. 2000. Image inpainting [C]//ACM Proceedings of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH). New York: ACM Press, 2000: 417-424.

作者简介: 胡文瑾 (1981-), 女, 博士研究生, 研究方向: 图像处理、模式识别, E-mail: wenjin-zhm@126.com; 王维兰 (1961-), 女, 教授, 研究方向: 图像处理、模式识别、数据挖掘、藏文信息处理; 刘仲民 (1977-), 男, 讲师, 研究方向: 机器视觉与模式识别。