





第19卷第6期（总第218期）

2014年6月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱: 北京399信箱 邮编: 100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

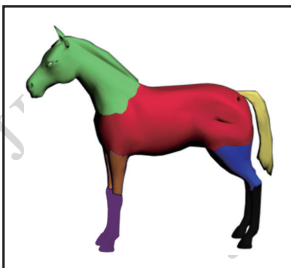
国内定价 50.00元



帧内复制粘贴视频伪造的盲检测(第825页)



基于流形学习的人体动作识别(第914页)



层次结构导向下的动画角色模型分割与标记(第955页)

综述

虹膜图像质量评价综述

李星光, 孙哲南, 谭铁牛

0813

图像处理和编码

帧内复制粘贴视频伪造的盲检测

杜振龙, 焦丽鑫, 李晓丽, 郭延文, 杨小健

0825

破损区域分块划分的图像修复

翟东海, 鱼江, 段维夏, 肖杰

0835

分布式视频编码中相关噪声分布的非参数估计

胡晓飞, 朱秀昌

0843

分数阶原始对偶去噪模型及其数值算法

田丹, 薛定宇, 杨雅婕

0852

结合感知特征和自然场景统计的无参考图像质量评价

贾惠珍, 孙权森, 王同罕

0859

图像置乱度评估的层次分析法

曹光辉, 胡凯, 张兴

0868

图像分析和识别

结合目标预测位置的压缩跟踪

罗会兰, 钟宝康, 孔繁胜

0875

标牌粘连字符自适应定位分割重建识别

洪涛, 梁伟建, 卢玉凤

0886

结合色度和纹理不变性的运动阴影检测

殷保才, 刘羽, 汪增福

0896

仿射不变的自适应局部线性嵌入

顾播宇, 孙俊喜, 李洪祚, 刘广文, 曹永刚

0906

基于流形学习的人体动作识别

王鑫, 沃波海, 管秋, 陈胜勇

0914

图像理解和计算机视觉

基于压缩感知理论的3维人脸快速重建

周大可, 吴子扬, 杨欣

0924

压缩感知跟踪中的特征选择与目标模型更新

石武祯, 宁纪锋, 颜永丰

0932

高动态场景的图像融合优化和实时应用

范逵, 周晓波

0940

计算机图形学

真实图像转换的水墨图像绘制模拟

陈添丁, 金炜炜, 陈英旦, 吴涤

0946

层次结构导向下的动画角色模型分割与标记

李琳, 陶涛, 刘晓平

0955

遥感图像处理

静止卫星图像热带气旋云系自动识别

耿晓庆, 李紫薇, 杨晓峰

0964

非下采样Contourlet域融合和参数化内核图割的SAR图像无监督水灾变化检测

李青松, 覃锡忠, 贾振红, 杨杰, 胡英杰

0971

地理信息技术

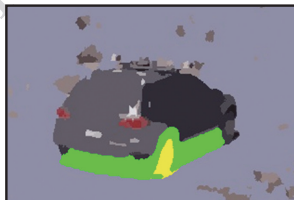
描述定性方向关系的复合表达模型

王中辉, 杨艳春

0979

CONTENTS

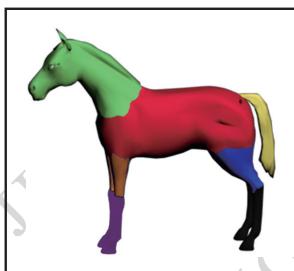
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Intraframe copy-paste forgery video blind detection based on dense SIFT flow(P825)



Human action recognition based on manifold learning(P914)



Animation character model segmentation and labeling approach under the guidance of hierarchical structures(P955)

Review

- Overview of iris image quality-assessment
Li Xingguang, Sun Zhenan, Tan Tieniu 0813

Image Processing and Coding

- Intraframe copy-paste forgery video blind detection based on dense SIFT flow
Du Zhenlong, Jiao Lixin, Li Xiaoli, Guo Yanwen, Yang Xiaojian 0825
- Image inpainting algorithm based on partition block of damaged region
Zhai Donghai, Yu Jiang, Duan Weixia, Xiao Jie 0835
- Non-parametric estimation for correlation noise distribution in distributed video coding
Hu Xiaofei, Zhu Xiuchang 0843
- Fractional-order primal-dual model and numerical algorithm for denoising
Tian Dan, Xue Dingyu, Yang Yajie 0852
- Blind image quality assessment based on perceptual features and natural scene statistics
Jia Huizhen, Sun Quansen, Wang Tonghan 0859
- Image scrambling degree evaluation based on analytic hierarchy process
Cao Guanghui, Hu Kai, Zhang Xing 0868

Image Analysis and Recognition

- Object tracking algorithm by combining the predicted target position with compressive tracking
Luo Huilan, Zhong Baokang, Kong Fansheng 0875
- Merged characters segmentation reconstruction and recognition of labels based on adaptive location
Hong Tao, Liang Weijian, Lu Yufeng 0886
- Moving shadow detection by combining chromaticity and texture invariance
Yin Baocai, Liu Yu, Wang Zengfu 0896
- Affine invariant adaptive locally linear embedding
Gu Boyu, Sun Junxi, Li Hongzuo, Liu Guangwen, Cao Yonggang 0906
- Human action recognition based on manifold learning
Wang Xin, Wo Bohai, Guan Qiu, Chen Shengyong 0914

Image Understanding and Computer Vision

- Fast 3D face reconstruction based on compressed sensing
Zhou Dake, Wu Ziyang, Yang Xin 0924
- Feature selection and target model updating in compressive tracking
Shi Wuzhen, Ning Jifeng, Yan Yongfeng 0932
- The optimization of image fusion and real-time application for HDR scenarios
Fan Kui, Zhou Xiaobo 0940

Computer Graphics

- Rendering simulation of real-image converting into chinese ink painting
Chen Tianding, Jin Weiwei, Chen Yingdan, Wu Di 0946
- Animation character model segmentation and labeling approach under the guidance of hierarchical structures
Li Lin, Tao Tao, Liu Xiaoping 0955

Remote Sensing Image Processing

- Tropical cyclone auto-recognition from stationary satellite imagery
Geng Xiaoqing, Li Ziwei, Yang Xiaofeng 0964
- Unsupervised detection of flood changes with SAR images combining nonsubsampling Contourlet domain fusion and parametric kernel graph cuts
Li Qingsong, Qin Xizhong, Jia Zhenghong, Yang Jie, Hu Raphael 0971

Geoinformatics

- Compound model for describing direction relations qualitatively
Wang Zhonghui, Yang Yanchun 0979

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)06-0835-08

论文引用格式: Zhai D H, Yu J, Duan W X, Xiao J. Image inpainting algorithm based on partition block of damaged region[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(6): 835-842. [翟东海, 鱼江, 段维夏, 肖杰. 破损区域分块划分的图像修复[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(6): 835-842.] [DOI:10. 11834/jig. 20140603]

破损区域分块划分的图像修复

翟东海^{1,2}, 鱼江¹, 段维夏¹, 肖杰¹

1. 西南交通大学信息科学与技术学院, 成都 610031; 2. 西藏大学工学院, 拉萨 850000

摘要: **目的** 提出一个算法,使计算机能够自动修复破损区域较大且结构信息较复杂的图像。**方法** 通过模仿手工修复破损区域较大且结构信息较复杂的图像的方法,按以下 2 个步骤来修复图像:1) 破损区域的划分,首先,对各断裂边界线进行匹配配对,然后,将已配对的各断裂边界线进行直接连接,从而在破损区域内形成各个待修复块;2) 各块的修复,首先,采用 Bertalmio, Sapiro, Caselles, Ballester (BSCB) 算法中的传输方程和扩散方程将已选邻域信息迭代传输和扩散到各块破损区域,以修复完优先级最大的各个块,然后,判断是否有次优先级的待修复块,若有,则采用边界线删除算法删除部分冗余边界线,接着按相同方法修复次优先级的待修复块,若无,则修复完成。**结果** 基于以上图像修复步骤,提出了破损区域分块划分的图像修复算法。将该算法和其他 3 个算法用于修复破损区域较大且结构信息较复杂的图像,其结果显示,该算法所修复图像的峰值信噪比 (PSNR) 值平均提高 1.49 dB,同时,所修复图像具有较好的视觉效果。**结论** 和其他 3 个算法相比,本文破损区域分块划分的图像修复算法更适用于修复破损区域较大且结构信息较复杂的图像。

关键词: 图像修复; 手工修复; 边界线; BSCB 算法; 结构信息

Image inpainting algorithm based on partition block of damaged region

Zhai Donghai^{1,2}, Yu Jiang¹, Duan Weixia¹, Xiao Jie¹

1. School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;
 2. Engineering School, Tibet University, Lhasa 850000, China

Abstract: **Objective** To propose an image inpainting algorithm that can enable the computer to repair images with a larger damaged area and more complex structure information. **Method** Images with a larger damaged area and more complex structure information are repaired by imitating manual repair methods, and it has two steps: the division of damaged area and the repair of each block. 1) In the division process of the damaged area the matching degree of every two damaged boundaries are calculated first and the boundaries having the greatest matching degree are made into matching pairs. Then, the well-matched boundaries are directly connected, dividing the damaged region into different blocks. 2) In the repair process of each block, the transmission equation and diffusion equation of the BSCB algorithm are used to repair each block with the highest priority first. Second, our algorithm judges whether there is a block with second priority to be repaired, if yes, the boundary deletion algorithm is used to delete the redundant boundary lines, and the same method is used to repair each block; if not, the repair process is completed. **Result** Based on the above image inpainting steps, an image inpainting algorithm based on partition block of damaged region is proposed. The experimental results show that the proposed method can

收稿日期: 2013-09-05; 修回日期: 2013-12-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (12EF119); 西藏自治区重点科技计划项目 (Z2013B28G28/02); 国家级大学生创新创业训练计划项目 (201210694019)

第一作者简介: 翟东海 (1974—), 男, 副教授, 研究生导师, 2003 年于西南交通大学获交通信息工程及控制专业工学博士学位, 主要研究方向为数字图像处理、海量数据挖掘。E-mail: dhzhai@swjtu.edu.cn

increase the PSNR value about 1.49 db and achieve better visual effect. **Conclusion** The proposed algorithm is more suitable for repairing damaged images with a larger damaged area and more complex structure information compared with other three image inpainting algorithms.

Key words: image inpainting; manual inpainting; boundary lines; BSCB algorithm; structure information

0 引言

数字图像修复是数字图像处理领域的重要组成部分^[1]。一般会有很多因素能引起图像上的局部信息缺损,如:1)对原本就破损的图像进行数字扫描后得到的数字图像;2)因某种特殊目的而移去图像上的目标物体或文字后留下的信息空白区域;3)在数字图像的获取、处理、压缩、传输和解压缩过程中因部分信息的丢失所留下的信息缺损区域等^[2]。为了满足图像信息的完整性要求,需要对这些受损图像的破损区域进行填充修复,并且要使观察者无法察觉到修复后的图像曾经缺损过或已被修复。

基于结构的图像修复算法具有理论性强、适应性好、但不能产生强边缘的特点^[3],基于纹理^[4,9]的图像修复算法对于纹理信息丰富的图像具有很好的修复效果,特别是采用块修复代替单个像素修复,适合于修复破损区域较大的图像,但是对于结构信息多的图像修复效果不佳。在基于结构的算法方面,Bertalmio 等人^[10]最早用偏微分方程的方法对破损图像进行修复,提出了 Bertalmio, Sapiro, Caselles, Ballester (BSCB) 图像修复算法,该算法^[11-12]在等照度线延长的同时保持了与边界的交角,同时该算法是根据各向异性扩散进行扩散的,故修复的结果能更加贴近人的视觉感受,但该算法只适合于修复破损区域较小的图像。在基于纹理的图像修复算法方面,文献[13]通过对 Criminisi 算法进行改进,使得算法在修复破损区域较大的图像时,修复效果有了提高,但是在修复结构信息较复杂的图像时,效果仍不是很好。路平等^[14]针对较大结构信息的破损区域的修复问题,提出了快速结构化图像修补算法,该算法在修复较大破损区域时具有较好的修复效果,但在修复图像的过程中需要人工主动去划分破损区域。

在以上算法的基础上,通过模仿手工修复破损区域较大、结构信息较复杂的破损图像的方法,提出了破损区域分块划分的图像修复算法。首先估算破损区域边缘各断裂边界线的走向,然后将属于同一条边界线的各断裂边界线直接连接,连接后的边界

线就会将破损区域划分成不同的块。接下来分别计算各块的优先级,按优先级的大小顺序进行修复。在对每个块进行修复时,选择其邻域中置信度较大的那些邻域块信息并利用 BSCB 算法中的传输方程和扩散方程对其进行修复,重复这一过程,直至整个破损区域修复完成。最后,将提出的算法和 BSCB 算法以及近几年新出现的能够修复破损区域较大且结构信息较复杂的图像修复算法进行比较。其结果表明,本文算法在修复破损区域较大,结构信息较复杂的图像时克服了这些算法在修复此类图像时所存在的两断裂边界线不能连接在一起,以及改进的 Criminisi 算法(文献[13])存在的区域信息被填充错误的缺点。

1 算法基础

1.1 BSCB 图像修复算法^[10-12]

破损图像如图 1 所示,其中 Ω_0 为整个破损图像, $\partial\Omega$ 为破损区域边界, Ω 为破损区域, Ω^e 为 Ω 经过膨胀而来。BSCB 算法在修复图像时,分两个步骤:

1) 传输过程。首先确定图像的修补方向 N , 即等照线的方向。然后有修补的传输模型,表示为

$$\begin{cases} I^{n+1}(i, j) = I^n(i, j) + \Delta t I_t^n(i, j), (i, j) \in \Omega \\ I_t^n(i, j) = \delta L^n(i, j) \cdot N^n(i, j) \\ L^n(i, j) = I_{xx}^n(i, j) + I_{yy}^n(i, j) \end{cases} \quad (1)$$

式中, n 和 t 都表示迭代次数,在编程实现过程中 n 为外层循环迭代次数, t 为内层循环迭代次数; x, i 表示图像的横轴坐标, y, j 表示图像的纵轴坐标。 $I^n(i, j)$ 为第 n 次迭代得到的 (i, j) 点的像素值, Δt 为迭代步长,一般取值为 1,它的大小影响待更新像

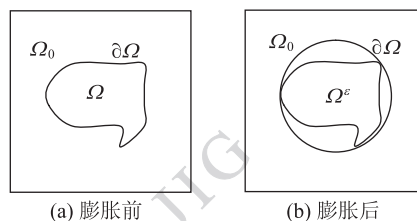


图 1 破损图像示意图

Fig. 1 Damaged image

素值的变化速率, $N^n(i, j)$ 表示的是在 (i, j) 点第 n 次迭代得到的等照线的方向(没有单位化), $L^n(i, j)$ 表示的是第 n 次向 (i, j) 点延伸的信息(用拉普拉斯算子来描述), $\delta L^n(i, j)$ 表示 $L^n(i, j)$ 在两个方向的变化量, $I_{xx}^n(i, j)$ 为 $I^n(i, j)$ 关于 x 轴的二阶偏导数(差分)值; $I_{yy}^n(i, j)$ 为 $I^n(i, j)$ 关于 y 轴的二阶偏导数(差分)值。

2) 扩散过程。为了使修补过程正确的演化, 需要在修补图像的过程中穿插扩散的过程, 主要目的是为了降噪, 以及防止等照度线的交叉。同时考虑到边缘的锐利性, 采用的是各向异性扩散。各向异性扩散方程为

$$\begin{cases} \frac{\partial I}{\partial t}(i, j, t) = g_{\varepsilon}(i, j) K(i, j, t) |\nabla I(i, j, t)|, (i, j) \in \Omega^{\varepsilon} \\ g_{\varepsilon}(i, j) = \begin{cases} 1 & (i, j) \in \Omega \\ 0 & (i, j) \in \Omega^{\varepsilon} - \Omega \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $K(i, j, t)$ 表示的是在第 t 次迭代时, 等照线在点 (i, j) 的曲率, $|\nabla I(i, j, t)|$ 表示的是在第 t 次迭代时, 图像 I 在点 (i, j) 的梯度。

1.2 手工修复破损图像的方法^[15-16]

1) 观察整幅破损图像, 并仔细研究破损区域周围的结构信息和等照度线的走向, 猜测破损区域边缘各等照度线的走向及其内部的纹理结构;

2) 以“先抓主干”, “再究细节”的思想勾勒破损区域内部的部分图像结构, 这些结构往往就是修复后的图像边界, 用以区分不同的块;

3) 在满足视觉连通性和等照度线平滑性原则的条件下, 利用邻域已知信息对各破损块进行手工描绘, 实现破损区域的图像修复。

图2为采用BSCB算法、手工修复方法和本文算法对破损区域较大、结构信息较复杂的图像的修复结果进行比较。

从图2的实验结果可以看出, BSCB算法在修复破损区域较小、结构信息较复杂的图像时, 修复结果可以满足人类的视觉连通性原理(图2(d)中区域1)。但是, 当该算法在修复破损区域较大、结构信息较复杂的图像时, 修复结果并不理想(图2(d)中区域2), 这是因为该算法在修复破损区域较大的图像时, 对于区域的边界线信息的走向把握不好, 从而会出现本属于同一边界线的两断裂边界线连接不在一起的现象。手工修复方法取得了很好的修复结果(图2(e)), 这是因为它在满足视觉连通性的原则

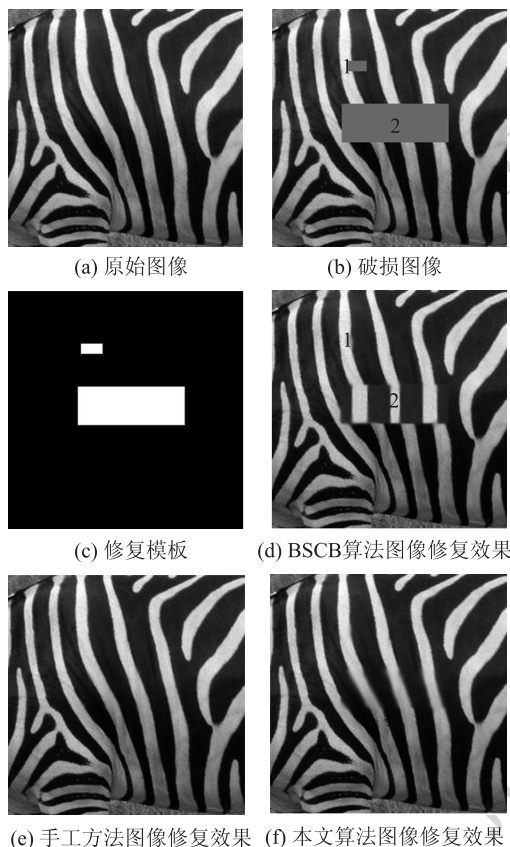


图2 破损图像修复效果比较

Fig. 2 Inpainting results comparison on damaged image

下, 采用全局最优和局部最优的思想对图像进行了智慧修复。图2(f)为本文算法的修复结果, 其修复结果很好地满足人类的视觉连通性原理。这是因为它在修复破损区域时, 首先, 估算破损区域边缘各断裂边界线的走向; 然后, 将属于同一条边界线的各断裂边进行连接; 最后, 将由于边界线的分割所形成的各个块采用邻域中置信度最大的那些邻域块信息, 并利用BSCB算法中的传输方程和扩散方程对其进行迭代修复的结果。

2 本文算法

本文破损区域分块划分的图像修复算法流程如图3所示。

2.1 破损区域的划分

1) 找出待修复图像 Ω_0 的待修复区域 Ω 。这部分内容以人工模板的形式给出。

2) 筛选出 Ω 邻域的各断裂边界线。计算出 Ω 邻域各点的梯度值 $|\nabla I|$, 选出 $|\nabla I|$ 值最大的前 m 个点, 且包含这 m 个点的等照度线作为各断裂边界线。

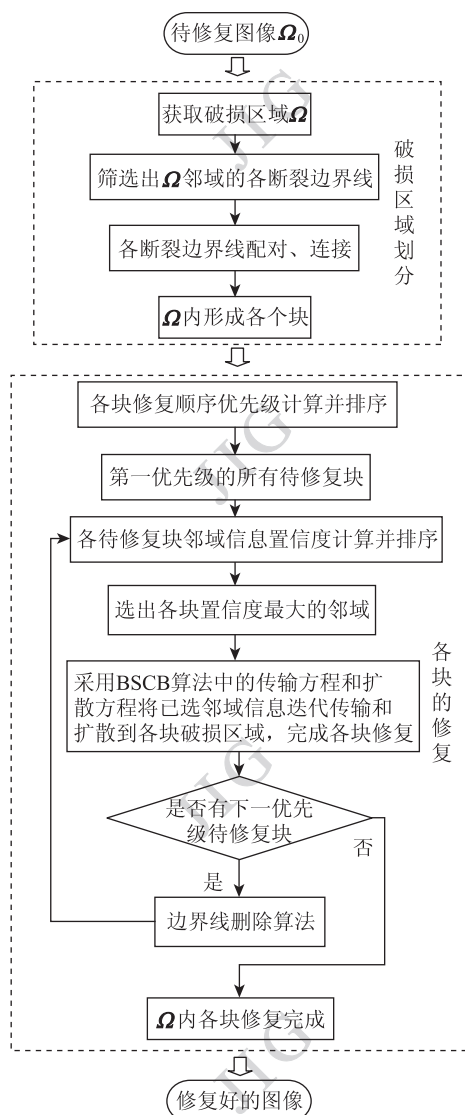


图3 本文算法流程

Fig. 3 The proposed algorithm process

3) 各断裂边界线配对、连接。计算 m 条各断裂边界线两两之间的匹配度, 将匹配度大于阈值 Θ 且没有被连接的两断裂边界线进行直接地线性连接, 被连接的这一对断裂边界线就被认为是完好图像中本属于同一条边界线的, 但由于图像破损而被割断。如图4所示, 通过例子来细说两断裂边界线匹配度的计算方法。

图4中 Ω_0 为整个破损图像, $\partial\Omega$ 为破损区域边缘, Ω 为破损区域, b_1, b_2, b_3, b_4 为破损区域邻域的4条断裂边界线, a 和 c 为两断裂边界线 b_1, b_2 和破损区域边缘的交点, t_1 和 t_2 分别为这2条边界线在点 a, c 的切线且在另一端和 $\partial\Omega$ 的交点分别为 e, d , 两断裂边界线 b_1, b_2 的匹配度为

$$m(b_1, b_2) = \frac{1}{\alpha m_1(b_1, b_2) + (1 - \alpha) m_2(b_1, b_2)} \quad (3)$$

式中, $m_1(b_1, b_2)$ 为点 e, c 的欧氏距离 $|ec|$ 和点 d, a 的欧氏距离 $|da|$ 的算数均值 (见图4); $m_2(b_1, b_2)$ 为 b_1 断裂边界线的像素均值和 b_2 断裂边界线的像素均值的差值的绝对值; $\alpha (0 < \alpha < 1)$ 表示因子 $m_1(b_1, b_2)$ 对匹配度的影响度大小, $1 - \alpha$ 为因子 $m_2(b_1, b_2)$ 对匹配度的影响度大小。

完成步骤3)后, 则在破损区域 Ω 内形成各个小破损块 (见图5中 $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$), 在实验过程中线宽采用 3×3 大小的像素块。

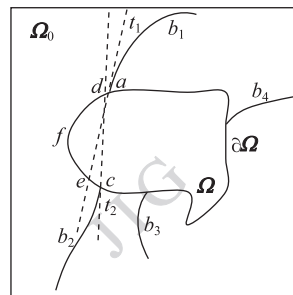


图4 破损区域邻域结构

Fig. 4 Neighborhood structure of damaged region

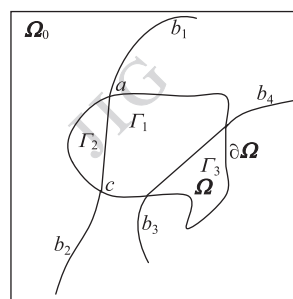


图5 破损区域划分结构

Fig. 5 Division structure of damaged region

2.2 各块的修复

以图6为例来清晰地叙述算法内容。算法理论基础基于以下2个假设: 1) 任何一个图像都可以看做是一张白纸上的边界线 (轮廓线) 信息和边界线所包围的内部区域的纹理信息所构成。即图像是边界线对纹理区域进行分割而产生的, 当然各纹理区域一般情况是不同的。2) 为满足图像的视觉连通性, 在任意多条边界线的交叉点, 只有一条边界线是连通的, 而其他边界线是被它割断的。算法步骤如下:

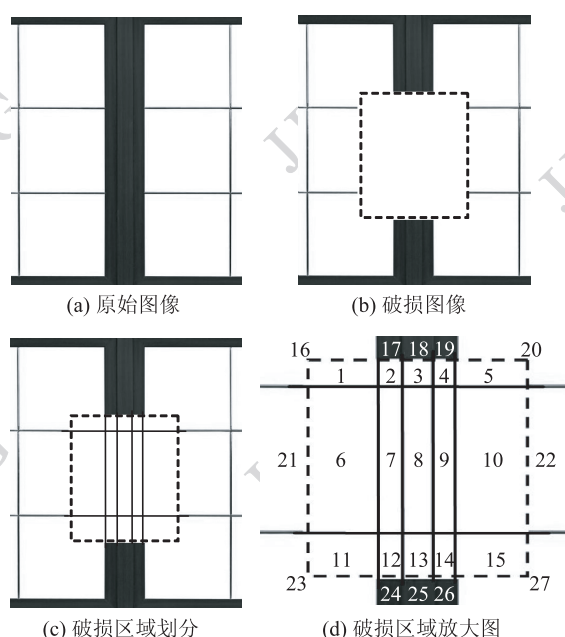


图6 破损区域内各块邻域关系

Fig.6 Neighborhood relations of blocks in damaged region

1) 各块修复顺序优先级计算并排序。与完好区域直接相连的待修复块的优先级设置为1, 反之则置0。如图6(d)中, 1~5、6、10、11~15各个块都和完好区域直接相连, 各块和完好区域没有被任何边界线所隔断, 它们可以优先修复, 它们的优先级设置为1; 块7~9被边界线所隔开, 它们和完好区域没有直接相连, 修复顺序次之, 优先级设置为0; 按此方法可分配每个待修复块的优先级, 在修复过程中按优先级顺序进行修复, 优先级相同的可同时修复。

2) 待修复块邻域信息置信度计算并排序。
(1) 对每个待修复块, 选择出与该块相邻的所有邻域;
(2) 判断该块是否与某邻域直接相连, 如果是直接相连(该块与该邻域没有被边界线隔开), 且该邻域块是完好区域或者是已修复好的区域, 则该邻域置信度为1, 反之为0;
(3) 按此方法对该块的所有邻域的置信度赋值, 最后按置信度的大小对该块的所有邻域从大到小排序选出置信度最大的邻域作为该块的先验信息。对于一个块而言, 如果有几个邻域信息都为1时, 则认为它们的置信度都为最大, 则都应作为该块的先验信息, 对该块进行修复。如图6(d)中, 块1有邻域16、17、21、6、7、2, 但只有邻域块16的置信度为1, 其他的都为0。

3) 信息传输和扩散。对优先级最大的各个块采用式(1)和式(2)的传输方程和扩散方程, 进行迭代修复。当然, 所采用的先验信息是该块邻域中置信度最大的邻域块信息。至此, 图6(d)中已完成1~5、6、10、11~15的修复。

4) 下一优先级破损块的修复。如果没有要修复的下一优先级的破损块, 则退出程序(如图5); 反之, 采用前面的假设对待修复块的部分已连接的冗余边界线进行删除(如图6(d))。边界线删除算法如下:

输入: 两条待判断的边界线。

过程:

(1) 将两边界线各自的两端分别向两端延伸, 直到遇到图像的完好区域时, 则延伸截止(已修复的区域也被认为是完好区域);

(2) 分别计算已延伸的两断裂边界线的长度;

(3) 对它们的长度进行比较, 长度较长的延伸线所对应的边界线需保留, 长度较短的延伸线所对应的边界线需删除, 长度相同时则随意删除一个(另一个则保留)。

输出: 要被删除的边界线和要被保留的边界线。

如图6(d)中: 在修复块7时, 要么块2、7或者块7、12或者块2、7、12是连通的, 要么块6、7是连通的, 在修复块7时, 判断块6和7的交界线要删除, 还是块2和7的交界线要删除来说明删除边界线的方法:

输入: 块6和7的交界线、块2和7的交界线。

过程:

(1) 块6和7的交界线的两端分别向两端延伸, 当找到图像的完好区域(区域1、2和区域11、12)时则停止延伸, 此时的延长边界线计为 L_1 ; 同样, 块2和7的交界线的两端分别向两端延伸, 找到完好区域(找到区域1、6和5、10)时则停止延伸, 此时的延长边界线计为 L_2 ;

(2) 计算 L_1 、 L_2 的长度分别计为 $|L_1|$ 和 $|L_2|$;

(3) 判断 $|L_1|$ 和 $|L_2|$ 的大小: 如果 $|L_1|$ 小, 则区域6、7的边界线要删除; 如果 $|L_1|$ 大, 则区域2、7的边界线要删除; 如果相等则随意删除一个。

输出: 要删除和要保留的边界线, 6、7相交的的边界线保留, 2、7相交的的边界线要删除。

5) 程序跳转至步骤2)。判断出要删除和要保留的边界线后, 重新计算待修复块邻域信息置信度并排序, 并利用邻域信息对该块进行修复。

完成以上步骤 1) — 5), 即可完成整个破损区域的图像修复。

3 实 验

首先分别分析了 BSCB 算法、文献 [13]、文献 [14] 算法和本文算法对灰度图像的修复效果, 然后将各算法扩展到彩色空间分别进行了修复分析。实验环境为 MATLAB 7.6.0 版本, 各组实验的参数 $\alpha = 0.4$ 。另外, 为了定量比较算法的修复效果, 采用峰值信噪比 (PSNR) 和算法运行时间作为比较的评价标准。PSNR 值越大表明修复效果越好, 其计算公式为

$$\text{PSNR} = 10\lg \frac{255^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (U(i,j) - U_1(i,j))^2} \quad (4)$$

式中, U 为原图, U_1 为修复后的图像, M 和 N 分别为图像的行数和列数。从式 (4) 中也可以看出, PSNR 值越大, 修复后图像与原始图像的差距越小。

3.1 灰度图像修复效果比较

图 7 为 4 种算法对灰度图像的修复结果。将 BSCB 算法、文献 [13]、文献 [14] 算法和本文算法对灰度图像的修复效果进行了比较。峰值信噪比 (PSNR)、时间消耗的比较结果如表 1 所示。

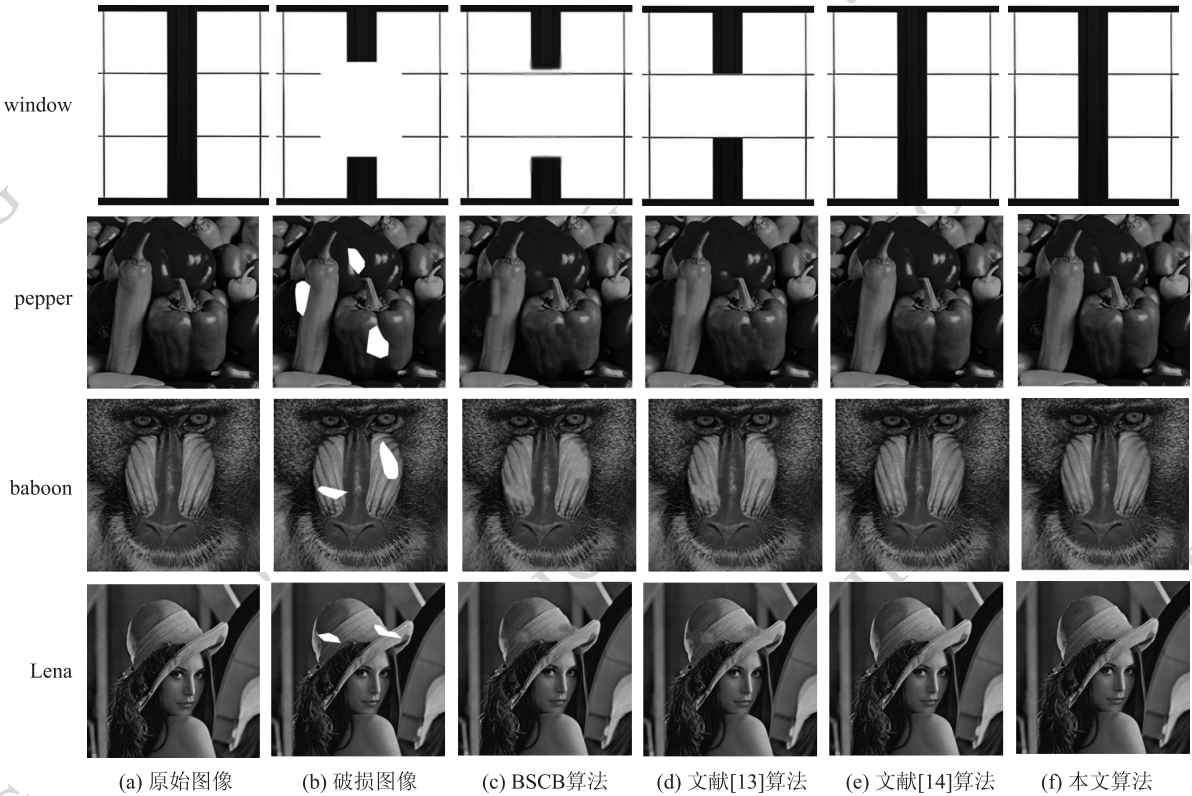


图 7 灰度图像修复效果比较

Fig. 7 Inpainting results comparison on gray images

表 1 灰度图像修复效果比较

Table 1 Inpainting results comparison on gray images

算法	window (443 × 514)		pepper (430 × 431)		baboon (436 × 432)		Lena (512 × 512)	
	PSNR/dB	运行时间/s	PSNR/dB	运行时间/s	PSNR/dB	运行时间/s	PSNR/dB	运行时间/s
BSCB	19.30	11.48	32.10	10.08	31.49	10.19	32.17	12.05
文献[13]	14.57	8.55	31.14	8.03	32.06	8.25	32.80	9.44
文献[14]	35.49	—	35.29	—	35.71	—	35.88	—
本文	35.12	13.12	35.01	12.30	35.91	13.00	35.71	14.83

注: 文献 [14] 算法需要人工参与, 故其算法耗时未填写

3.2 彩色图像修复效果比较

图 8、图 9 为 4 种算法对彩色图像的处理结果。4 种算法移除大物体所得的视觉效果如图 8 所示, 4 种算法修复破损图像所得的视觉效果如图 9 所示, 峰值信噪比 (PSNR)、时间消耗的比较结果如表 2 所示。

以上实验都是各算法对破损区域较大, 结构信

息较复杂的破损图像所修复的结果, 以下分析是建立在此前提之下的: BSCB 算法在修复破损图像时, 会模糊边界信息, 同时会出现各个断裂边界线连接不在一起的现象; 文献 [13] 算法是对 Criminisi 算法^[4]的改进, 但是该算法在修复图像时, 对最先修复点的依赖性太大 (在其他条件相同的前提下, 边界越突变, 则越先修复), 所以它会出现将某区域地

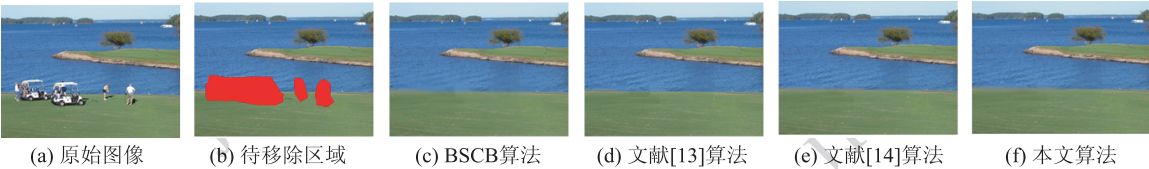


图 8 图像 beach 物体移除
Fig. 8 Objects remove results comparison on beach picture



图 9 壁画图片修复效果比较
Fig. 9 Inpainting results comparison on color images

表 2 彩色图像修复效果比较

Table 2 Inpainting results comparison on color images

算法	beach (443 × 514)		tangka (430 × 431)		people ^[10] (436 × 432)		mutal (481 × 444)	
	PSNR/dB	运行时间/s	PSNR/dB	运行时间/s	PSNR/dB	运行时间/s	PSNR/dB	运行时间/s
BSCB	—	23.13	31.15	21.33	30.84	21.51	31.77	23.13
文献 [13]	—	16.88	32.06	15.39	31.31	16.03	30.06	17.56
文献 [14]	—	—	35.77	—	34.80	—	35.41	—
本文	—	27.92	35.06	25.38	35.06	26.27	35.55	26.77

注: beach 为物体移除实验, 其 PSNR 值没有意义, 故未填写; 文献 [14] 算法需要人工参与, 故其算法耗时未填写

信息错误地复制到待修复区域(图7(d));文献[14]算法采用人工交互地方法,将待修补区域手动划分为纹理部分与结构部分,然后各自修复,取得了较好地修复效果,但该算法对于处理时间要求高的情况下,不便于应用;本文算法所修复的图像的PSNR值平均提高1.49 dB,同时获得了较好的视觉效果,这是因为它降低了BSCB算法、文献[13]算法在修复破损区域较大且结构信息较复杂的图像时所存在的两断裂边界线不能连接在一起,以及区域信息被错误填充的缺点,同时借鉴了文献[14]算法的部分优点,并实现了对图像的全自动修复。

4 结 论

为了让计算机能够自动修复破损区域较大且结构信息较复杂的图像,通过模仿手工修复该类破损图像的方法,提出了破损区域分块划分的图像修复算法。该算法分两个部分:破损区域的划分和各块的修复。实验结果表明,该算法在修复破损区域较大且结构信息较复杂的图像时降低了其他相关算法在修复此类图像中所存在的两断裂边界线不能连接在一起、以及区域信息被错误填充的缺点,但本文算法不适合处理含有很大曲率的边界线的破损图像,此时,所能修复的破损区域的面积要缩小,这一问题也将是本研究接下来要解决的问题。

参考文献(References)

- [1] Shen H, Li S M, Mao J G, et al. Digital image restoration techniques: a review [J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(9): 1764-1775. [沈岷, 李舜酩, 毛建国, 等. 数字图像复原技术综述[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(9): 1764-1775.]
- [2] Zhang H Y, Peng Q C. A survey on digital image inpainting [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(1): 1-10. [张红英, 彭启琮. 数字图像修复技术综述[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(1): 1-10.]
- [3] Li G Q. Large scale image inpainting based on exemplar and structure information [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010. [李功清. 基于样本和结构信息的大范围图像修复算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.]
- [4] Criminisi A, Perez P, Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(9): 1200-1212.
- [5] Kwatra V, Essa I, Bobick A, et al. Texture optimization for example-based synthesis [J]. ACM Transactions on Graphics, 2005, 24(3): 795-802.
- [6] Zhou H L, Zheng J M. Adaptive patch size determination for patch-based image completion [C] // Proceedings of IEEE the 17th International Conference on Image Processing. Hong Kong, China: IEEE, 2010: 421-424.
- [7] Wu J, Ruan Q. Object removal by cross isophotes exemplar-based inpainting [C] // Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition. HongKong, China: IEEE, 2006: 810-813.
- [8] Chen Q, Wang H Q, Wu M. Adaptive image inpainting algorithm based on texture feature [J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(6): 1572-1574. [陈卿, 王慧琴, 吴萌. 基于纹理特征的自适应图像修复算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(6): 1572-1574.]
- [9] Xie H S, Pan J J. Optimal method of image inpainting based on texture synthesis [J]. Journal of Fuzhou University: Natural Science Edition, 2013, 41(3): 305-310. [谢伙生, 潘蛟君. 基于纹理合成的图像修复优化方法[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2013, 41(3): 305-310.]
- [10] Bertalmio M, Sapiro G, Caselles V, et al. Image inpainting [C] // Proceedings of the SIGGRAPH. New Orleans, New York: ACM Press, 2000: 417-424.
- [11] Zeng X X, Chen F, Wang M Q. Image inpainting based on the BSCB model [J]. Journal of Fuzhou University: Natural Science Edition, 2009, 37(5): 657-661. [曾勋勋, 陈飞, 王美清. 基于BSCB模型的图像修补算法[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2009, 37(5): 657-661.]
- [12] Zhang J, Yu Y, Ye Q Q, et al. An improved BSCB image inpainting method [J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(S1): 277-281. [张静, 余烨, 叶强强, 等. 一种改进的BSCB修复模型[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(S1): 277-281.]
- [13] Ren S, Tang X H, Kang J L. Improved Criminisi algorithm with the texture and edge features [J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(9): 1085-1091. [任澍, 唐向宏, 康佳伦. 利用纹理和边缘特征的Criminisi改进算法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(9): 1085-1091.]
- [14] Lu P, Chen M G, Ma L Z, et al. Fast structural image completion [J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(6): 931-935. [路平, 陈敏刚, 马利庄, 等. 快速结构化图像修补[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(6): 931-935.]
- [15] Braverman C. Photoshop Retouching Handbook [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1998: 1-228.
- [16] Zhang F. Research on large area image inpainting [D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2013. [张斐. 大区域图像修复算法研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.]