

ISSN 1002 - 0411
CN 21 - 1138/TP
CODEN: XYKOE9

信息与控制

Information and Control



2015 1
第44卷 第1期
Vol.44 No.1

中国科学院沈阳自动化研究所 主办
中国自动化学会

科学出版社 出版

中文核心期刊(自然科学)
中国科学引文数据库来源期刊
英国《科学文摘》收录期刊
荷兰 Scopus 数据库收录期刊

信息与控制

XINXI YU KONGZHI

第 44 卷 第 1 期 2015 年 2 月

目 次

• 论文与报告 •

基于主动滑模控制的不确定分数阶混沌(超混沌)系统的延迟同步	阎晓妹	尚 婷	赵小国(1)
发电机组非线性自适应综合 L_2 增益控制器设计	谷志锋	朱长青	王文婷 杨润生(8)
基于交互多模型虚拟观测卡尔曼滤波的多雷达组网机动目标跟踪算法	赵温波	丁海龙(15)	
基于关联系数标准差融合的置信规则库规则约简方法	杨隆浩	王晓东	傅仰耿(21)
考虑产品寿命次数的多期闭环供应链网络均衡	张桂涛	胡劲松	孙 浩 戴更新(29)
基于事件驱动控制的非线性多智能体的一致性	邵浩宇	胡爱花(38)	
低阶被控过程含延迟的饱和最优 PID 控制器设计方法	李先宏	于海斌	曾 鹏 苑明哲 孙兰香(43)
基于 Mamdani 的通用模糊逼近器的设计与实现	王文庆	杨振新(51)	
一种基于特征模型的自适应离散滑模控制	钟 华	潘金文	王 永(56)
多质量弹性扭转系统的模型辨识	张永宏	王 琦	李远禄 井晨志(62)

• 综述与介绍 •

弹性控制综述	马 静	叶 泳	贾秋生(67)
--------------	-----	-----	-----------

• 实际问题研讨 •

基于级联观测器的垂直起降飞机鲁棒容错控制	蒋元庆	杨 浩	姜 斌(76)
交通场景中动态事件的语义表达方法	于 云	曹 凯(83)	
基于局部环境形状特征识别的移动机器人避障方法	王蛟龙	周 洁	高 慧 秦 娜 马 磊(91)
基于人工免疫的污水处理系统自适应优化策略	许玉格	宋亚龄	陈立定(99)
基于像素权值的高效小波图像修复算法	吕永利	姜 斌	包建荣(104)
基于路网探测的轨迹模式挖掘	吴俊伟	朱云龙	库 涛 陈翰宁(110)
自动驾驶车辆的预测避障控制	余 如	郭洪艳	陈 虹(117)

• 短 文 •

基于稳定性和无源性的非线性系统生存性分析	姜志娥	董潇潇(125)
----------------------------	-----	------------

Information and Control

(XINXI YU KONGZHI)

Vol. 44 No. 1 February 2015

CONTENTS

Lag Synchronization of Uncertain Fractional-order Chaotic (Hyperchaotic) Systems Using Active Sliding Mode Control	YAN Xiaomei, SHANG Ting, ZHAO Xiaoguo (1)
Nonlinear Adaptive Synthetic Controller Design with L_2 -gain Performance for a Diesel-generator Set	GU Zhifeng, ZHU Changqing, WANG Wenting, YANG Runsheng (8)
Maneuvering Target Tracking Algorithm in Multi-radar Networking Based on Interacting Multiple Model-virtual Observation Kalman Filter	ZHAO Wenbo, DING Hailong (15)
Rule Reduction Approach to Belief Rule Base Using Correlation Coefficient and Standard Deviation Integrated Method	YANG Longhao, WANG Xiaodong, FU Yanggeng (21)
The Closed-loop Supply Chain Network Equilibrium with Products Lifetime in Multi-period Planning Model	ZHANG Gu tao, HU Jinsong, SUN Hao, DAI Gengxin (29)
Consensus of Nonlinear Multi-agent Systems with Event-triggered Control	SHAO Haoyu, HU Aihua (38)
A Design Method of Saturated Optimal PID Controller for the Low-order Controlled Processes with Time Delay	LI Xianhong, YU Haibin, ZENG Peng, YUAN Mingzhe, SUN Lanxiang (43)
Design and Implementation of a Universal Fuzzy Approximator Based on Mamdani System	WANG Wenqing, YANG Zhenxin (51)
Characteristic Model-based Adaptive Discrete-time Sliding Mode Control	ZHONG Hua, PAN Jinwen, WANG Yong (56)
The Model Identification of the Multi-mass Elastic Torsion System	ZHANG Yonghong, WANG Qi, LI Yuanlu, JING Chenzhi (62)
Review of Resilient Control	MA Jing, YE Yong, JIA Qiusheng (67)
Cascade Observer Based Robust Fault Tolerant Control for VTOL Aircraft	JIANG Yuanqing, YANG Hao, JIANG Bin (76)
A Method for Semantic Representation of Dynamic Events in Traffic Scenes	YU Yun, CAO Kai (83)
Obstacle Avoidance Method for Mobile Robots Based on the Identification of Local Environment Shape Features	WANG Jiaolong, ZHOU Jie, GAO Hui, QIN Na, MA Lei (91)
A Self-adaptive Optimization Strategy of Wastewater Treatment System Based on Artificial Immune Algorithm	XU Yuge, SONG Yaling, CHEN Liding (99)
Efficient Wavelet Image Inpainting Algorithm Based on Pixel Weight Values	LÜ Yongli, JIANG Bin, BAO Jianrong (104)
Trajectory Pattern Mining Based on Road Network Detection	WU Junwei, ZHU Yunlong, KU Tao, CHEN Hanning (110)
Predictive Obstacle-avoidance Control for Autonomous Vehicle	YU Ru, GUO Hongyan, CHEN Hong (117)
Viability Analysis for Nonlinear System Based on Stability and Passivity	LOU Zhi'e, DONG Xiaoxiao (125)

基于像素权值的高效小波图像修复算法

吕永利, 姜斌, 包建荣

杭州电子科技大学通信工程学院, 浙江 杭州 310018

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61001133); 浙江省自然科学基金重点资助项目(LZ14F010003); 浙江省数据存储传输及应用技术研究重点实验室(杭州电子科技大学)资助项目

通信作者: 姜斌, jiangbin@hdu.edu.cn 收稿/录用/修回: 2014-01-17/2014-05-19/2014-06-05

摘要

针对传统图像修复算法计算量大、修复耗时较长、复杂度高等缺点, 提出了一种基于像素权值的高效小波图像修复算法. 该算法先对受损图像进行小波分解, 再快速定位待修复区域, 后根据待修复区域及其邻域像素值计算相应像素权值, 并用计算所得像素权值及邻域内已知像素值完成受损像素点的修复, 最后由小波重构得到修复后图像. 仿真表明: 在类似修复图像视觉效果前提下, 该算法执行速度比传统修复算法有较大提高, 复杂度也有较大下降, 适用于高效实时图像修复.

关键词

图像修复
小波分解
像素权值
小波重构

中图分类号: TP319

文献标识码: A

Efficient Wavelet Image Inpainting Algorithm Based on Pixel Weight Values

LÜ Yongli, JIANG Bin, BAO Jianrong

School of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China

Abstract

Traditional image inpainting algorithms suffer from large computational costs, duration of run, and complexity. This paper proposes an efficient wavelet image inpainting algorithm based on pixel weight to overcome these challenges. First, the damaged image is decomposed by wavelet transformation and the regions to be inpainted are quickly located. Then, the pixel weights are calculated according to both the regions to be inpainted and the adjacent pixels around it. Subsequently, the calculated pixel weights and the known neighborhood pixels are used to finish the inpainting of the damaged pixels. Finally, the inpainted image is obtained by wavelet reconstruction. Simulation results show that the speed of the proposed algorithm is remarkably faster than that of the traditional inpainting algorithm, and the complexity also significantly decreases, under similar inpainted image visualization effect. Therefore, the proposed algorithm is very suitable for use in efficient real-time image inpainting scenarios.

Keywords

image inpainting;
wavelet decomposition;
pixel weight value;
wavelet reconstruction

1 引言

图像修复 (inpainting)^[1] 技术是当前图像处理技术的一个研究热点. 它在珍贵艺术品保护, 去除图像多余信息及数字图像传输失真修复等方面有着重大应用价值.

现有数字图像修复主要有采用几何和纹理合成等特征的图像修复方法^[1]. 基于几何特征的图像修复采用的主要思想是先选定图像待修复区域, 再利用待修复区域周围已知信息, 通过传递、扩散以及结合等方式, 将待修复区域边缘信息按一定规律延伸至受损区域. 采用该思想的方法主要包括: 基于三阶偏微分方程 (PDE) 的方法、曲率驱动扩散模型^[2]、全变分模型^[3]、欧拉弹性模型^[4]、Mumford-Shah 模型及其扩展的 Mumford-Shah-Euler 模型等^[5]. 由于

这些方法在数值实现时都需引入大量迭代运算, 以致其运算复杂度较高及运算时间较长, 在实用中受限, 无法大规模推广. 因此, 如何高效快速修复受损图像, 已成为当前迫切需要解决的关键问题^[6-7]. 针对该问题, 本文提出了基于像素权值的高效小波图像修复算法. 它是一种快速非迭代修复方法: 算法从受损区域边界开始, 将待修复区信息逐步向内推进, 同时修复各边界离散像素点, 直至整个待修复区域全部修复.

小波理论是 20 世纪 80 年代开始发展的信号处理方法^[8]. 由于其特有的多分辨率与时频局部分析特性, 在通信信号处理、图像分析等领域获得广泛应用. 本文将多分辨率思想应用于图像修复: 先对图像进行小波分解得到图像不同频率成分, 再处理分解后的各小波分量, 并由小波

系数重构而获得修复后的图像. 仿真表明: 该算法在修复后图像视觉效果类似的情况下, 运行所需时间比传统算法大为缩短, 且复杂度也有较大降低, 便于高效修复图像.

2 基于像素权值的修复算法

在数字图像应用实践中, 常有去除多余物体、划痕等修复需求. 根据文[10-11]可知, 在对图像进行修复之前, 要对待修复图像预处理, 即对目标区域进行人工判断, 从而使得待修复区域的错误数据不计入算法的运算中去. 对图像预处理后可设 I 为待修复图像, Ω 为受损区域, 即待修复目标; $\partial\Omega$ 为修复区边界; 边界上待修复点 p 的邻域记为 $\Psi(p)$, 即以待修复点 p 为中心的图像区域. 为便于提取图像待修复区域, 一般将输入灰度图像的待修复区域像素值置为 0 或 255, 然后根据图像像素值自动标记待修复区域. 算法中用一个掩模图像 (Mask) 来标记待修复区域, 其掩模图像为二值图像, 待修复区域标记为 1, 已知区域标记为 0. 算法对于待修复区域内的像素值进行修复, 根据掩模图像中的位置提取待修复区域的边界, 然后根据待修复区域边界的已知像素信息由边界向内推进, 如图 1 所示.

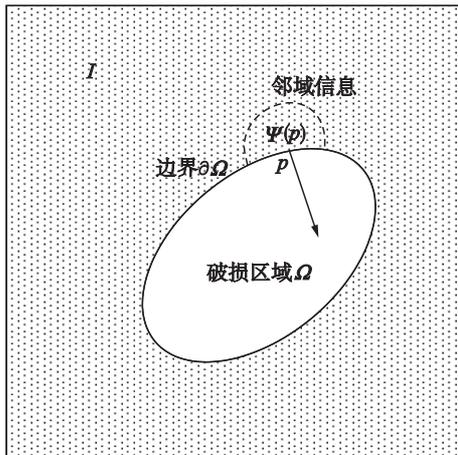


图 1 典型受损图像示意图
Fig.1 Typical damaged image

本算法为非迭代快速修复算法. 为了降低修复中的误差, 并提高修复效率, 修复过程采用从待修复区域边界 $\partial\Omega$ 开始, 由外向内, 逐层推进进行. 每层修复完并更新该层像素值后, 重新提取边界, 继续向内推进, 直至整个受损区域被修复完毕^[12-14]. 针对传统的基于偏微分方程 (partial differential equation, PDE) 的 BSCB (Bertalmio Sapiro Caselles Bellester) 模型、整体变分 (total variation, TV) 方法、基于曲率的扩散 (curvature driven diffusions, CDD) 模型等图像修复算法, 它们在数值实现过程中都需引入大量迭代运算, 以致其运算复杂度较高, 算法时间成本过高; 而本文算法在信息推进的过程中无需重复迭代, 一层修复完立即向下一层推进, 不必再进行重复计算, 因此算法耗时上相比传统算法大大降低.

在对单个受损像素点进行修复时, 首先如图 2 所示选

取邻域像素模板^[12], 再对邻域像素模板内已知像素值计算其像素权值. 最后, 根据计算所得像素权值及模板内已知像素值计算所得受损点像素值. 具体如图 2 所示. 实际修复选取以待修复点 p 为中心的 5×5 大小邻域像素模板, q 点为邻域像素模板内已知点, \vec{pq} 为待修复点到已知点连线方向向量, N_p^+ 为已知点 q 点的梯度方向.

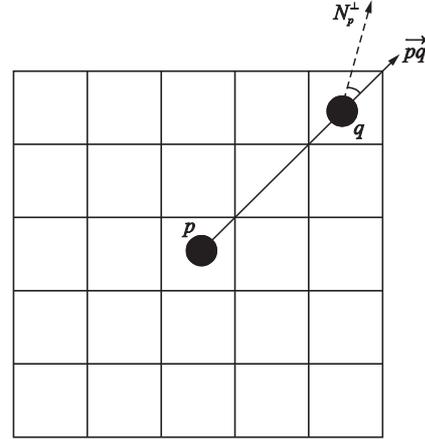


图 2 待修复点邻域像素模板示意图

Fig.2 Adjacent pixel template of a point to be inpainted

如图 2 所示, $I(p)$ 为 p 点的像素值. 在此, 定义像素权函数如式(1)所示:

$$\phi(p, q) = g(p, q) \cdot d(p, q) \quad (1)$$

邻域像素模板内像素权值可通过式(1)求得. 其中, $g(p, q)$ 定义为像素方向影响因子, 在图像上表现为越接近像素点等照度线方向, N_p 的像素值 $g(p, q)$ 的值越大. 其表现如式(2)所示:

$$g(p, q) = \vec{pq} \cdot N_p / (|\vec{pq}| \cdot |N_p|) \quad (2)$$

由式(2)可得: 当 q 点在等照度线方向 N_p 上时, $g(p, q) = 1$, 即方向向量与等照度线重合. 此时, $g(p, q)$ 最大, 该已知点对待修复点的影响也最大; 而当 q 点离等照度线越远时, $g(p, q)$ 越小, 则该点对待修复点的影响也越小. 式(3)中 $d(p, q)$ 为像素距离影响因子. 其表现为已知点与待修复点距离远近对待修复点所造成的影响. 如已知像素点与待修复点越近, 则其对待修复点影响越大, 反之则影响越小. 因此, 可定义像素距离影响因子为

$$d(p, q) = \frac{1}{\sqrt{(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2}} \quad (3)$$

其中, x_p, y_p 为待修复点的坐标, x_q, y_q 为已知像素点坐标, 采用两点间距离公式来计算像素已知点与待修复点之间的几何距离.

如把式(2)和式(3)代入式(1), 则得像素权函数计算所得的像素权值. 再对邻域像素模板 $\Psi(p)$ 内已知像素点进行权重赋值, $\phi(p, q)$ 值越大, 则说明该已知像素点对待修复点的影响越大, 反之则影响越小. 最后, 加权平均即可求得 p 点的像素值. 具体如式(4)所示:

$$I(p) = \frac{\sum_{q \in \Psi(p)} \phi(p, q) I_q(p)}{\sum_{q \in \Psi(p)} \phi(p, q)} \quad (4)$$

受损像素点修复完毕后,更新该点像素值,继续下一个受损点修复.一层修复完成后重新提取边界,进行下一层修复.重复上述步骤,直到受损区域全部修复完毕.

如图3所示,点 (i, j) 为图像破损边缘处的待修复点,图中实线部分为已知像素点,虚线部分为破损像素点,即未知像素点,通过已知像素点的信息来修复破损像素点.如图所示, $\theta_1, \dots, \theta_{10}$ 分别为已知像素点等照度线方向与该点方向向量的夹角,根据式(2)可知, θ 越小,等照度线方向与该点方向向量越接近,则像素方向因子越大;由式(3)可得,离待修复点 (i, j) 越近,像素距离影响因子越大.把计算得到的像素方向影响因子和像素距离影响因子代入(1)式中可得,像素点 $(i-1, j)$ 最后得到的像素权函数数值最大.然后把计算得到的像素权函数代入(4)式对应相乘,即以该已知点的像素值乘以其对应的像素权函数,其在图像中相应的意义为权函数越大的已知像素点对待修复点 (i, j) 的贡献越大,因此在图3中的已知像素点中,像素点 $(i-1, j)$ 对待修复点 (i, j) 的贡献最大,因此被赋予了更高的权重.接着把已知像素点与其像素权函数对应相乘后的结果进行累加,权重越大的像素点在像素的累加中所占的影响越大,最后对其累加的结果进行权值均衡,保证修复得到的像素点最接近于图像的真实像素值.通过像素方向影响因子和像素距离影响因子的双重约束,能够尽可能地精确重建出图像的像素值,使修复后图像更符合人类主观视觉评价.

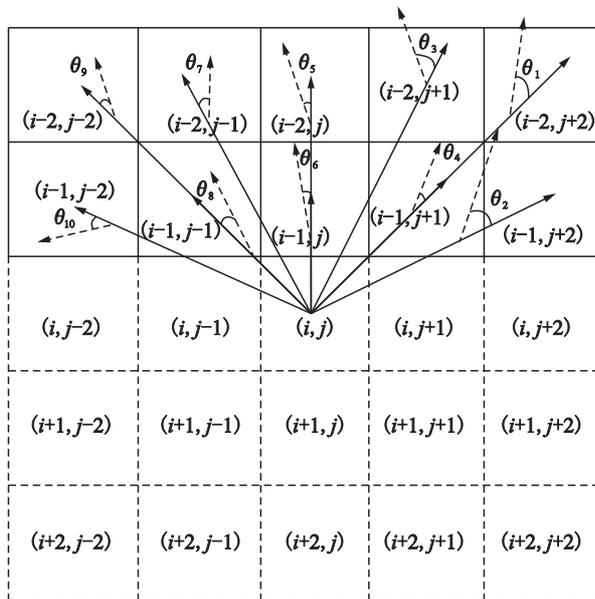


图3 待修复点邻域像素模板分析示意图

Fig.3 Analysis of the adjacent pixel template of a point to be inpainted

3 基于像素权值的小波域图像修复算法

3.1 图像小波变换

目前,小波变换(wavelet transform, WT)在信号处理与图像分析等领域获得广泛应用^[7-9].对于任意二维图像 $f(x, y) \in L^2(\mathbb{R} \times \mathbb{R})$,有:

$$\begin{cases} A_j f = \langle f(x, y), \phi_{j, n, m}(x, y) \rangle, (n, m) \in L^2 \\ D_j^1 f = \langle f(x, y), \psi_{j, n, m}^1(x, y) \rangle, (n, m) \in L^2 \\ D_j^2 f = \langle f(x, y), \psi_{j, n, m}^2(x, y) \rangle, (n, m) \in L^2 \\ D_j^3 f = \langle f(x, y), \psi_{j, n, m}^3(x, y) \rangle, (n, m) \in L^2 \end{cases} \quad (5)$$

其中, j 为变换尺度; f 为图像信号; ϕ 为尺度函数; ψ 为小波函数; $\langle \rangle$ 为函数内积;根据式(5)对图像分解,得低频分量(LL) $A_j f$, y 方向高频分量(LH) $D_j^1 f$, x 方向高频分量(HL) $D_j^2 f$ 以及 x 和 y 方向高频分量(HH) $D_j^3 f$ 4个子图.原始图像经过一级小波分解后,图像大部分信息主要集中在低频分量部分,而其余3个分量所包含的信息很少^[9],从图4也可明显看出该结论.图4给出了小波一级尺度分解的示意图.

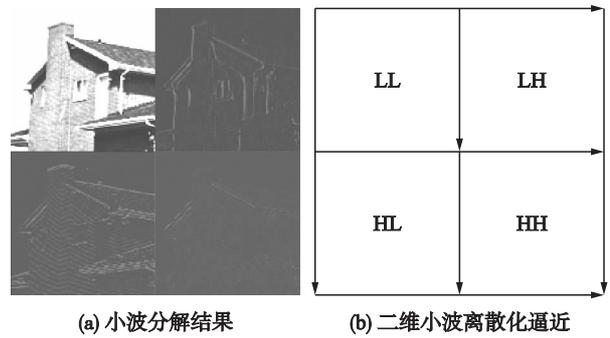


图4 图像的一级小波分解

Fig.4 First scale wavelet decomposition for the image

从图4中还可得:低频分量与其余3个分量对应位置信息相似,小波变换后各分量存在较强相关性.由于图像信息主要集中在低频分量,故修复过程主要在低频分量进行.在对图像进行小波分解后,图像低频分量为原始图像大小的1/4.因此,修复区被缩小了,只需更短时间即可完成修复.在完成低频分量修复后,将低频图像中已修复受损像素及周围领域像素取出,再对其水平、垂直及对角方向进行滤波,然后填补到对应其余分量的图像.最后,对图像小波重构,完成整个修复.根据应用角度,一级小波分解能够满足多数图像修复要求^[12].

3.2 基于像素权值的小波域修复算法

从图4中可得:高频分量(LH, HL, HH)与低频分量(LL)对应位置信息相似.因此,可把低频分量修复后信息滤波后,填补到其余对应位置的3个分量图.

根据上述分析,提出了基于像素权值高效小波修复算法.首先,对图像进行小波分解.由于图像信息主要集中在低频分量,而一级小波分解所得低频分量仅为原始图像大小的1/4,即相当于受损区域缩小为原先的1/4;然后,利用基于像素权值方法对小波分解后的低频分量进行修复:由于低频分量受损面积为缩小,故修复所耗时间也大为缩短;接着,根据低频与高频分量对应位置信息的相似性,对修复完成的低频分量滤波,把所得信息填补到其余3个对应分量图像;最后,通过小波重构,得到最终修复的图像.

具体算法步骤如下:

(1) 读入图像和受损区域掩模, 并对图像进行二维小波分解.

(2) 选取分解后图像低频部分, 对低频部分待修复像素点计算其邻域像素权值, 再根据计算所得像素权值和已知像素值, 计算待修复点像素值, 完成受损像素点修复.

(3) 对修复后低频部分进行水平、垂直及对角方向滤波, 再填补到对应其余 3 个分量.

(4) 将修复后的各个小波分量重构, 最终获得修复完成图像.

4 仿真实验及分析

为检验所提算法的有效性, 从修复所消耗的时间及修复后图像的总体视觉效果两方面, 对算法综合评价^[12-14]. 微机仿真平台主要采用了 Intel i5-2400 四核 1.58 G 主频 CPU 及 NVIDIA Geforce GT420 显卡等组件, 并利用 Matlab 软件(版本: 2011b)进行了仿真. 此外, 在仿真中, 主要选择了对照的 BSCB、TV 及 CDD 算法, 并与本算法进行了综合比较.

4.1 图像修复之划痕和文字去除

图 5 展示了一组图片划痕去除效果. 其中, 5(a) 为待修复图像, 5(b) 为 BSCB 算法修复结果, 5(c) 为 TV 算法修复结果, 5(d) 为 CDD 算法修复结果, 5(e) 为本文算法修复结果. 因算法采用非迭代方式由受损区域边缘向内信息推进方式, 故修复所耗时间相比其它传统算法大为缩短.

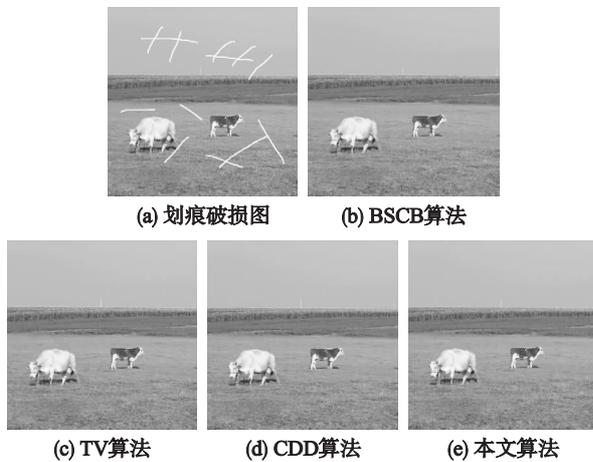


图 5 划痕去除仿真图
Fig.5 Simulation image after nick eliminating

从图 5 划痕去除和图 6 文字去除实验可得: 传统修复算法在对划痕及文字去除上有较满意的主观视觉效果. 但从表 1 对比修复时间可见, 传统算法所耗时间过长, 特别是 CDD 算法, 虽然修复后主观视觉效果最优, 但修复时间太长, 算法代价太高, 不利于实际应用; 本算法在主观视觉效果上与传统算法修复效果类似, 但修复时间却只有传统算法几分之一甚至几百分之一, 故修复效率得到极大提升.

4.2 图像修复之斑点去除

图 7 和图 8 分别为条形斑点去除和圆形斑点去除的示意图. 用传统算法和本算法分别对两种类型受损图像修复.

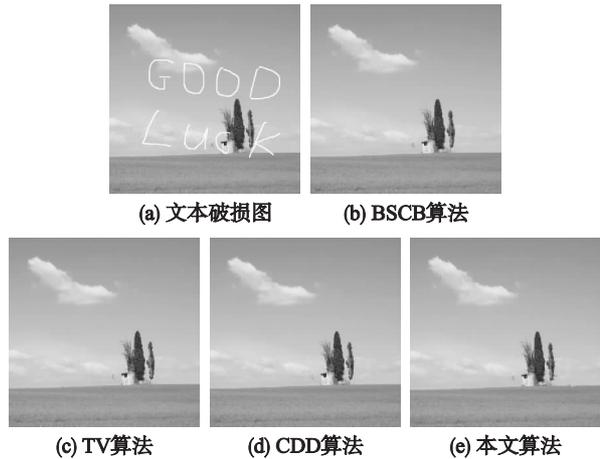


图 6 文字去除仿真图
Fig.6 Simulation image after character eliminating

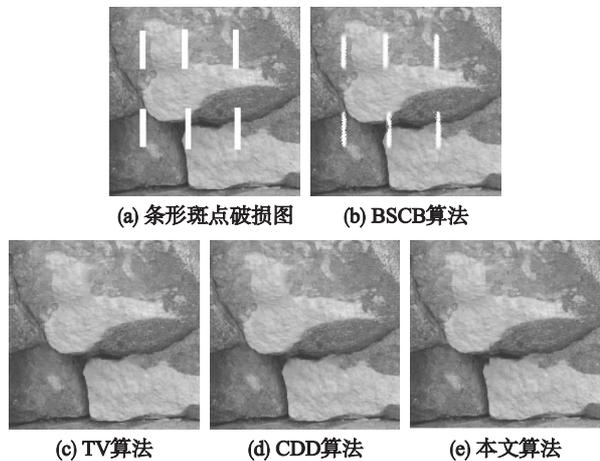


图 7 条形斑点去除仿真图
Fig.7 Simulation image after strip spot eliminating



图 8 圆形斑点去除仿真图
Fig.8 Simulation image after round spot eliminating

由图 7 和图 8 得: 对于条形斑点破坏和圆形斑点破坏修复, 由于受损区域面积较大, 采用 BSCB 算法修复后会呈现明显亮斑, 主观视觉效果较差; 而其它传统算法和本算法

修复后主观视觉效果都较好,没有特别明显亮斑.另从表1记录的数据分析可知,对于BSCB算法,由于其对图像进行迭代,故修复时间与受损区域无直接关系,只和图像大小有

关;TV算法和CDD算法所耗时间与图像大小及受损区域大小有直接关系;而本文算法,由于只针对受损区域修复,故图像受损区域越小,修复所需时间也越短.

表1 几种不同修复算法运行时间及峰值信噪比对比表

Tab.1 Comparison of running time and peak signal to noise ratio among some inpainting algorithms

实验图像	图片尺寸	缺损像素	修复时间/s				峰值信噪比(PSNR)			
			BSCB	TV	CDD	Proposed	BSCB	TV	CDD	Proposed
Animal(图5)	512×512	4 651	31.147 0	83.487	611.049 7	5.481	42.299 8	45.017 6	45.606 5	40.096 9
House(图6)	512×512	5 474	31.775 0	85.685	688.393	5.710	53.685 7	55.601 8	55.238 7	48.180 8
Rock(图7)	512×512	10 096	31.980 0	129.268	1 184.076	5.851	21.468 7	38.929 8	38.952 6	36.293 0
Lena(图8)	512×512	4 354	32.047 3	81.232	634.864	3.331	27.303 9	49.029 8	49.243 6	47.128 5

对表1中的峰值信噪比进行纵向对比,峰值信噪比越高,修复后的图像质量越好^[15-16].从表1中可以看到BSCB算法对于划痕和文字的修复效果较好,图像修复后的峰值信噪比较高,但是对于斑点破损的修复效果则较差,这与主观评价是相一致的;TV算法相对于BSCB算法来说修复效果上有一定程度的提升,但是缺陷也显而易见,算法耗时过长;与TV算法类似,CDD算法修复后的图像峰值信噪比较为理想,但是同样是算法耗时过长,甚至达到本文算法耗时的百倍数量级;本文算法在图像质量与传统算法类似的情况下,修复时间为传统算法的几分之一甚至几百分之一,大大地提升了图像的修复效率;图像质量方面由于小波重构中引入了部分噪声,因此部分PSNR(peak signal to noise ratio)指标上略有欠缺,但是图像主观视觉方面与传统算法相比几乎无区别,甚至优于部分算法.与传统算法类似,在对图像进行修复前需要人工对待修复区域进行判定.因此,对于大量需要待修复的图像,标定其待修复区域,操作上确实存在不便.但是,对于用户体验方面,由于大部分用户无需同时修复大量图像,修复效率成为用户较关注的问题.另

外,对于部分图像需去除特定目标物的修复类型,计算机无法进行自动判断,仍需要人工进行预处理判定待修复区域,而本文算法以其修复后较好的图像质量及较高的修复效率有利于实际应用.因此,综合修复后图像主观视觉效果、修复时间及峰值信噪比因素,本文所提算法效率较高.

5 结论

本文把图像修复问题映射到小波域,提出了基于像素权值的高效小波图像修复算法.该算法与传统算法相比无需大量迭代,缩短了算法所耗时间.算法先对图像进行小波分解,再找到图像待修复区域.同时,根据待修复区域及其邻域像素值,计算相应的像素权值.接着,用计算所得像素权值及邻域内已知像素值,完成对受损像素点的修复.最后,对修复后图像进行小波重构.在修复中,引入像素方向和像素距离影响因子来计算像素权值,从而达到提升图像视觉效果的目的.仿真表明:在图像修复效果相近时,本算法显著改善了修复效率并降低了复杂度.综上所述,新算法相对传统算法,在计算代价上有较明显降低.

参考文献

- [1] Bertalmio M, Sapiro G, Caselles V, et al. Image inpainting[C]//Proceedings of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000: 417-424.
- [2] Chan T F, Shen J. Nontexture inpainting by curvature-driven diffusions[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2001, 12(4): 436-449.
- [3] Shen J, Chan T F. Mathematical models for local nontexture inpaintings[J]. SIAM Journal on Applied Mathematics, 2002, 62(3): 1019-1043.
- [4] Chan T F, Kang S H, Shen J. Euler's elastica and curvature-based inpainting[J]. SIAM Journal on Applied Mathematics, 2002, 62(1): 564-592.
- [5] Esedoglu S, Shen J. Digital inpainting based on the Mumford-Shah-Euler image model[J]. European Journal of Applied Mathematics, 2002, 13(4): 353-370.
- [6] Wong A, Orchard J. A nonlocal-means approach to exemplar-based inpainting[C]//15th IEEE International Conference on Image Processing. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 2600-2603.
- [7] 何凯, 梁然, 张涛. 基于小波系数相关性的纹理图像快速修复算法[J]. 天津大学学报, 2010, 43(12): 1093-1097.
He K, Liang R, Zhang T. Fast texture image completion algorithm based on dependencies between wavelet coefficients[J]. Journal of Tianjin University, 2010, 43(12): 1093-1097.
- [8] 张平, 檀结庆, 何蕾. 基于离散小波变换的图像修补方法[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(9): 287-289.
Zhang P, Tan J Q, He L. Image inpainting method based on discrete wavelet transformation[J]. Application Research of Computers, 2007, 24(9): 287-289.
- [9] Han Y, Shi P. An adaptive level-selecting wavelet transform for texture defect detection[J]. Image and Vision Computing, 2007, 25(8):

1239 – 1248.

- [10] 王志鹏, 张桂戎, 基于分组行进算法的图像修补方法[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(5): 799 – 804.
Wang Z P, Zhang G X, Digital image inpainting based on group marching method[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(5): 799 – 804.
- [11] 崔国庆, 金波, 张爱新. 基于 KSVD 与 MCA 的图像修复技术研究[J]. 通信技术, 2013, 24(1): 22 – 25.
Cui G Q, Jin B, Zhang A X, Image Inpainting based on KSVD and MCA[J]. Communication Technology, 2013, 24(1): 22 – 25.
- [12] Liu J, Moulin P. Information-theoretic analysis of interscale and intrascale dependencies between image wavelet coefficients[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(11): 1647 – 1658.
- [13] Shih T K, Tang N C, Hwang J N. Exemplar-based video inpainting without ghost shadow artifacts by maintaining temporal continuity[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2009, 19(3): 347 – 360.
- [14] Duci A, Yezzi A J, Mitter S, et al. Region matching with missing parts[M]//Computer Vision-ECCV 2002. Berlin, Germany: Springer, 2002: 48 – 62.
- [15] 李开宇, 孙玉刚. 引入连续性强度和置信度因子的快速图像修复[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(4): 465 – 470.
Li K Y, Sun Y G, Fast image inpainting algorithm introducing continuous strength and confidence factor[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(4): 465 – 470.
- [16] Goyal P, Diwakar S. Fast and enhanced algorithm for exemplar based image inpainting[C]//2010 Fourth Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 325 – 330.

作者简介

吕永利(1992 –)男, 学士. 研究领域为信源编码, 图像处理等.

姜 斌(1980 –)男, 硕士, 高级实验师. 研究领域为信源信道编码, 图像处理等.

包建荣(1978 –)男, 博士, 副教授. 研究领域为无线通信, 图像处理等.

(上接第 103 页)

- [10] Alex J, Benedetti L, Copp J, et al. Benchmark simulation model No.1(BSM1)[R]. Lund, Sweden: Lund University, 2008.
- [11] Fisher W D. On grouping for maximum homogeneity[J]. American Statistical Association Journal, 1959, 53(12): 789 – 798.
- [12] Xu B, Zhuang Y, Xue Y, et al. Self-adaptive learning based immune algorithm[J]. Journal of Central South University, 2012, 19(4): 1021 – 1031.
- [13] 叶洪涛, 罗飞, 许玉格. 改进的免疫算法及其在函数优化中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(2): 464 – 467.
Ye H T, Luo F, Xu Y G. Improved immune algorithm and its applications to function optimization[J]. Systems Engineering and Electronics, 2011, 33(2): 464 – 467.
- [14] Woldemariam K M, Yen G G. Vaccine-enhanced artificial immune system for multimodal function optimization[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2010, 40(1): 218 – 228.
- [15] Henze M, Grady C P L, Gujer W, et al. Activated sludge model No.1[R]. London, UK: IAWQ, 1986.
- [16] Jeppsson U, Rosen C, Alex J, et al. Towards a benchmark simulation model for plant-wide control strategy performance evaluation of WWTPs[J]. Water Science and Technology, 2005, 53(1): 287 – 295.
- [17] 许玉格, 宋亚龄, 罗飞, 等. 基于人工免疫算法的污水处理系统节能优化[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2013, 41(8): 34 – 40.
Xu Y G, Song Y L, Luo F, et al. Energy-saving optimization of wastewater treatment system based on artificial immune algorithm[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2013, 41(8): 34 – 40.

作者简介

许玉格(1978 –), 女, 博士, 副教授. 研究领域为复杂系统的智能控制和优化.

宋亚龄(1988 –), 女, 硕士生. 研究领域为智能算法.

陈立定(1964 –), 男, 硕士, 副教授. 研究领域为智能控制和网络化控制系统.

信息与控制

XINXI YU KONGZHI

(双月刊, 1972年创刊)

第44卷 第1期 2015年2月

Information and Control

(Bimonthly, Started in 1972)

Vol.44 No.1 February 2015

主管单位: 中国科学院
主办单位: 中国科学院沈阳自动化研究所
中国自动化学会
出版单位: 科学出版社
地 址: 北京东黄城根北街16号
邮 编: 100717
电 话: 010-64015782
传 真: 010-64015782
电子信箱: webmaster@mail.sciencep.com
编辑单位: 中国自动化学会《信息与控制》编辑部
地 址: 沈阳市南塔街114号
邮 编: 110016
电 话: 024-23970049
网 址: <http://ic.sia.cn/>
电子信箱: xk@sia.cn
主 编: 王天然
印 刷: 辽宁省印刷技术研究所
国内发行: 辽宁省邮政报刊发行局
国外发行: 中国国际图书贸易总公司(北京399信箱)
国外代号: BM8080

Supervised by: Chinese Academy of Sciences
Sponsored by: Shenyang Institute of Automation, CAS
Chinese Association of Automation
Published by: Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, P.R. China
Tel: 010-64015782
Fax: 010-64015782
E-mail: webmaster@mail.sciencep.com
Edited by: The Editorial Board of Information and Control
Add: 114 Nanta Street, Shenyang 110016, P. R. China
Tel: 024-23970049
Website: <http://ic.sia.cn/>
E-mail: xk@sia.cn
Editor-in-Chief: WANG Tianran
Printed by: Liaoning Printing Technological Research Institute
Distributed by: Liaoning Newspapers and Periodicals Issuing Office
Overseas Distributed by: China International Book Trading
Corporation (P. O. Box399, Beijing100044, China)
Code No: BM 8080

刊 号: ISSN 1002-0411
CN 21-1138/TP

邮发代号: 8-104
CODEN: XYKOE9

国内外发行
国内定价: ¥ 20.00元

