

文章编号:1001-9081(2010)05-1333-02

基于整体变分模型的岩心图像修复

周春春, 吴晓红, 何小海

(四川大学电子信息学院, 成都 610064)

(zecgood002@163.com)

摘要:针对岩心扫描图像信息缺失的修复问题,提出了基于整体变分模型的修复算法。利用图像待修复区域邻域的参考像素信息,从待修复区域边缘逐步向待修复区域内部扩散,同时采用了邻域相关系数来衡量待修复区域邻域边界对目标像素点的影响程度,对算法进行了改进。通过仿真实验表明,改进后的算法与原方法相比,修复效果得到了改善,可以有效完成对于岩心图像的修复。

关键词:整体变分; 岩心图像修复; 邻域相关系数

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:**A

Core image inpainting based on total variation model

ZHOU Chun-chun, WU Xiao-hong, HE Xiao-hai

(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China)

Abstract: To solve the problem of lost information of scanned core image, an inpainting algorithm based on total variation model was presented. Using the information of the reference pixels in the neighborhood area of the inpainted area, the information was diffused to the inpainted area. The neighborhood relativity coefficient was introduced weighing the influence on target pixel point by inpainting neighborhood boundary. The experimental results show that the new method improves the inpainting effect, and is effective for core image inpainting.

Key words: total variation; core image inpainting; neighborhood relativity coefficient

0 引言

岩心是很珍贵的实物地质资料之一,但在实际工作中,有多种因素可能造成岩心的缺失和破损。因此,获取的岩心扫描图像也就存在信息丢失。为了保证岩心扫描图像信息的完整,便于研究人员能够尽量通过岩心扫描图像形象、直观地观察分析岩心,提高工作效率,本文采用数字图像修补技术来恢复缺失的岩心扫描图像信息。

数字图像修复是指对数字图像中损坏的地方用一定的方式进行修补,使之成为一幅完整的图像。近年来,已经提出了许多不同的方法来处理图像。Bertalmio 等人提出利用待修补区域的边缘信息^[1],同时采用一种由粗到精的方法来估计等照度线的方向,并借鉴热扩散思想,将待修补区域周围的信息传播到待修补区域内,以便得到较好的修补效果。有学者又陆续提出了使用 Navier-Stokes 流体方程的修复方法^[2]以及结合梯度信息的修复方法^[3]。受 Bertalmio 等人工作的启发,Chan 等人提出基于总体变分(Total Variation, TV)模型的各向异性扩散方法和基于曲率的扩散模型(Curvature-Driven Diffusion, CDD)^[4]。整体变分模型采用了 Euler-Lagrange 方程和各项异性的扩散,其最大的优点就是克服了线性滤波在抑制噪声的同时平滑图像边缘的缺点。

本文在前人研究的基础上,对整体变分法进行一定的改进,通过计算机仿真实验,使之能够完成对于岩心图像的修复工作。

1 岩心图像的 TV 修复模型

1.1 整体变分修复模型

基于整体变分的图像修复算法由 Rudin 等人^[5]于 1992

年提出。其数学模型^[6-9]如图 1 所示,其中 B 为图像待修补区域, A 为待修补区域的邻域,设 $\Omega = A \cup B$,考虑图像退化模型为 $g = Hu + n$, g 为退化图像, H 为退化算子, u 为原图像, n 为高斯白噪声。

根据 Rudin 等人的研究表明,有噪声图像的总变分比无噪声图像的总变分明显变大^[10],最小化总变分可以消除噪声^[11],该算法通过最小化式(1)得到修补后的图像。

$$T(u) = \frac{1}{2} \|Hu - g\|^2 + \alpha \int_B \sqrt{|\nabla u|^2 + \varepsilon^2} dx dy \quad (1)$$

其中: α 为正数; ∇u 代表 u 的梯度; B 为图像待修补区; ε 是为满足 $|\nabla u|$ 在零点可微所采用的较小的正数。本文算法只考虑图像待修补区的修补而没有考虑噪声的影响,故最小化问题可转化为求式(2)的无约束泛函极值问题。

$$J_\beta = \int_\Omega \sqrt{|\nabla u|^2 + \varepsilon^2} dx dy \quad (2)$$

当式(2)在 $u = u(x, y)$ 取得极值时,在区域 Ω 内同时满足欧拉公式,故可得式(2)取得极值的必要条件式(3),即为本文图像修补算法的基本公式。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \operatorname{div} \left[\frac{\nabla u}{|\nabla u|_\varepsilon} \right] \quad (3)$$

1.2 算法描述以及数值化

在对待修补区域进行处理时,基于整体变分的修复算法,将待修补区域邻域的图像信息从处理区域的边缘逐步向待修补区域内部进行各项异性扩散,经过多次迭代运算完成待修补区域的图像信息更迭,达到修复的目的。修补过程中为使图像修补后的效果良好,保证图像纹理的自然过渡,应更合理地利用待修补像素邻域更多像素的信息,本文综合利用了待修补像素点八邻域的像素信息,同时还应参考待修补区域邻域所产生的关联影响。本文定义了像素点邻域相关系数 ζ 来

收稿日期:2009-12-01;修回日期:2010-01-21。基金项目:中央高校基本科研业务费资助项目(2009SCU11009)。

作者简介:周春春(1986-),男,重庆人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理; 吴晓红(1971-),女,四川成都人,副教授,博士,主要研究方向:计算机图像识别; 何小海(1964-),男,四川成都人,教授,博士生导师,主要研究方向:图像处理、数字通信。

衡量该关联程度,某方向上 ζ 的值越大,表示了该方向邻域参考点信息影响大,相关程度高,反之则相关度低。

文献[7]中提出了利用待修补区域到其横向左右两个邻域方向边界处的距离,作为权值衡量邻域边界对于待修补点产生的影响。但文献中所针对的是待修补区域为长条形空白区域的情况。而在实际情况中,待修补区域并不规则,文献中的算法会因为丢失了纵向边界的邻域信息从而影响了修补的质量,同时也存在待修补区域两个垂直方向上影响更大的情形,采用文献中的算法就会产生较大的误差。通过以上的分析,本文算法综合考虑了待修复点距离邻域四个方向上的参考点对于待修复点的影响。

如图 2 所示,其中 B 为待修复区域, A 为 B 的邻域, U 为待修复像素点, U_1, U_2, U_3, U_4 分别为 U 在邻域边界西、北、东、南四个方向上的参考点, λ_i 是 U 与 U_i 之间的像素点数。根据上文的描述,可得相应方向上的 ζ_i 的定义如式(4)所示:

$$\zeta_i = \frac{(1/\lambda_i)}{\sum_{j=1}^4 (1/\lambda_j)} \quad (4)$$

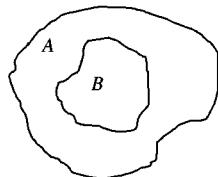


图 1 待修补区及邻域

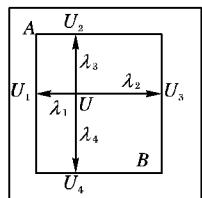


图 2 邻域相关系数定义

考虑待修补像素点距离其八邻域中东、南、西、北四个方向像素点中间点处的梯度值为式(5)~(8)所示:

$$|\nabla u_e| = \sqrt{\varepsilon^2 + \left(\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i-1,j-1} - u_{i-1,j+1}}{2h}\right)^2} \quad (5)$$

$$|\nabla u_n| = \sqrt{\varepsilon^2 + \left(\frac{u_{i,j-1} - u_{i,j}}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i+1,j-1} - u_{i-1,j-1}}{2h}\right)^2} \quad (6)$$

$$|\nabla u_s| = \sqrt{\varepsilon^2 + \left(\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i+1,j+1} - u_{i-1,j+1}}{2h}\right)^2} \quad (7)$$

$$|\nabla u_w| = \sqrt{\varepsilon^2 + \left(\frac{u_{i-1,j} - u_{i,j}}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i-1,j-1} - u_{i-1,j+1}}{2h}\right)^2} \quad (8)$$

同时:

$$\operatorname{div}(\nu) = \frac{\partial \nu^{(1)}}{\partial x} + \frac{\partial \nu^{(2)}}{\partial y} \approx \frac{\nu_e^{(1)} - \nu_w^{(1)}}{h} + \frac{\nu_n^{(2)} - \nu_s^{(2)}}{h} \quad (9)$$

$$\nu_e^{(1)} = \frac{1}{|\nabla u_e|} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_e = \frac{1}{|\nabla u_e|} \frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h} \quad (10)$$

依照相同的方法可以得出 $\nu_w^{(1)}, \nu_n^{(2)}, \nu_s^{(2)}$ 以及相应的参数,综合考虑上文中所提及的思想,并将所得到的参数代入式(3),可推导出本文的迭代公式:

$$\begin{aligned} u_{i,j}^{n+1} = & \left(u_{i,j}^n + \left[\frac{1}{h^2} \left(\frac{\zeta_1}{|\nabla u_w|} u_{i+1,j}^n + \frac{\zeta_2}{|\nabla u_e|} u_{i-1,j}^n + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. \frac{\zeta_3}{|\nabla u_n|} u_{i,j-1}^n + \frac{\zeta_4}{|\nabla u_s|} u_{i,j+1}^n \right) \right] \Delta t \right) / \\ & \left(1 + \frac{\Delta t}{h^2} \left(\frac{\zeta_1}{|\nabla u_w|} + \frac{\zeta_2}{|\nabla u_e|} + \frac{\zeta_3}{|\nabla u_n|} + \frac{\zeta_4}{|\nabla u_s|} \right) \right) \end{aligned} \quad (11)$$

1.3 图像修复算法步骤

- 1) 读入待修复图像信息以及掩膜图像信息;
- 2) 根据掩膜信息,判断待修复区域,并记录待修复目标点的下标;
- 3) 通过下标取得待修复点相关域的像素值以及像素点

邻域相关系数和相关参数,代入式(11)进行计算,将得到的新像素值取代原有像素值;

4) 满足迭代条件则重复 2)~4)的工作。

2 实验结果

本文对于破损的彩色图像以及岩心图像进行了相关实验,实验环境为 Celeron D315 2.26 GHz, 780 MB 内存, 工具为 Microsoft Visual Studio .NET 2003。下面给出 3 组实验结果如图 1~3 所示, 其中图 1、2 为经典图像, 图 3 为实际工作中获得的岩心扫描图像。实验中相关参数取值如下: $\Delta t = 0.1$, $\varepsilon = 0.000001$, $h = 1.0$, 迭代次数为 300。

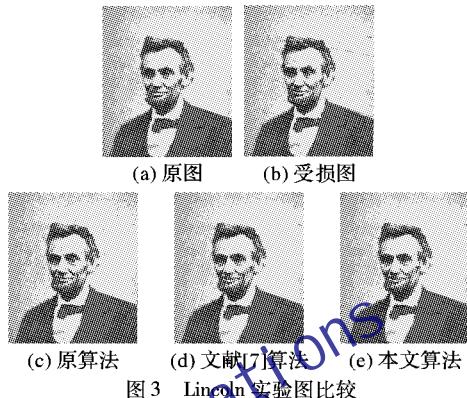


图 3 Lincoln 实验图比较

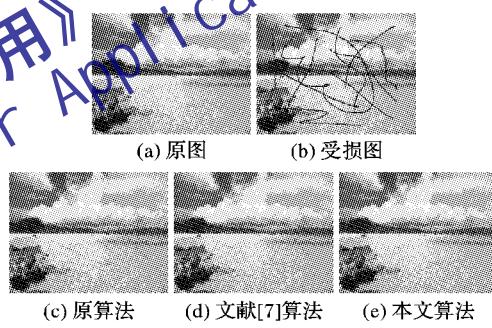


图 4 ocean 实验图比较

对于本文所修复的图像采用峰值信噪比 (PSNR) 进行评估比较, 根据式(12)可知, 计算出来的结果越大, 说明修复的效果越好。

$$PSNR = 10 \lg \left[\frac{255^2}{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (U(i,j) - U_1(i,j))^2} \right] \quad (12)$$

其中: U 为原图; U_1 为修复后的图像; M, N 分别为图像的行列系数。从图 1~3 和表 1 可以看出, 本文算法处理后的图像效果更为良好, 相对于文献[7] 中所提出的算法, 其 PSNR 值也有显著提高。

采用本文方法, 通过提供相应部分的掩膜图像, 可以较为有效地去除岩心图像表面外加的字迹信息, 如图 6 所示。

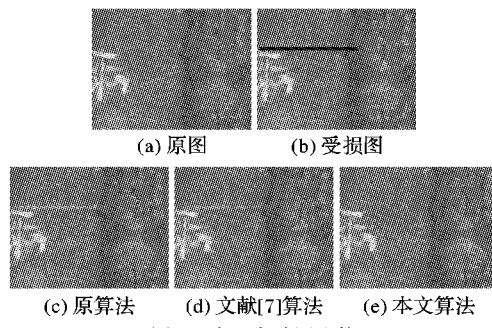


图 5 岩心实验图比较

3.3 应用案例——张家港科技馆虚拟百科全书展项

本系统已成功应用在张家港科技馆虚拟百科全书展项。因百科全书约有300多页,本系统的点击目录、点击播放页内链接音视频、快速返回及拖动翻书等新颖的功能,增强了交互虚拟现实感,提高了虚拟百科全书的可读性。

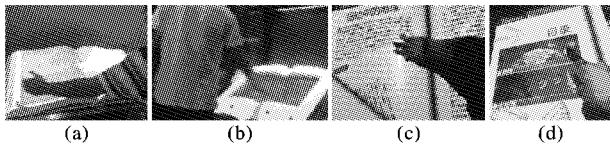


图10 交互效果对比

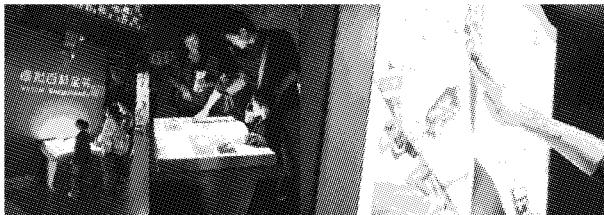


图11 张家港科技馆虚拟百科全书

4 结语

本文以互动投影技术为基础,运用基于机器视觉的红外检测跟踪与识别技术,开发出一种新型的虚拟电子书系统,告别了传统虚拟翻书系统只能左挥右挥的交互方式,极大地增强了虚拟现实系统的沉浸感、交互感与临场感,将虚拟电子书系统中的操作目标精确地定位到点,丰富了虚拟电子书的交互方式,包括实现传统的挥手翻书,以及新型电子书所具有的

(上接第1334页)

表1 实验图PSNR值对比

实验图	受损图	PSNR		
		原算法 实验图	文献[7]算 法实验图	本文算法 实验图
Lincoln	36.6021	40.1467	42.6226	43.6113
ocean	16.8698	36.5213	38.0707	40.3167
岩心	25.7528	37.2435	40.5421	43.7514

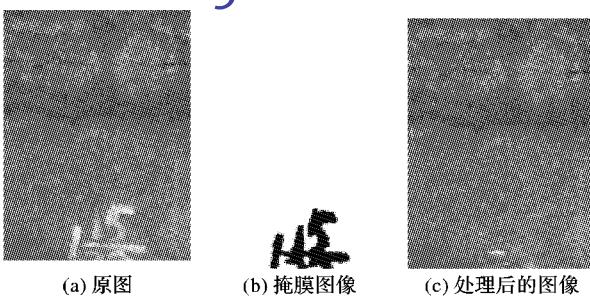


图6 去除岩心表面外加信息结果图

3 结语

本文在整体变分模型基础上,对于以往的算法进行了一定的改进,采用了邻域相关系数来区分待修复区域邻域边界对目标点的影响程度,通过仿真实验结果表明,修复图像的视觉效果比未改进前有了良好的改善。通过实践证明,本文算法能够较好地完成岩心图像的修复工作。由于整体变分模型修复出的是直线,对于岩心图像中大块图像信息的缺失,修复能力不足,对于复杂纹理表面的修复也会造成图像的模糊。另外本文算法中需要用户交互式给出掩膜图像,对掩膜图像的标识不精确,也会造成图像计算效果的不理想,这些都将是今后要努力的地方。

点击翻书、拖动书页翻书、点击目录返回首页功能以及点击书签或页内链接(视频、音频等)功能,将虚拟电子书的互动投影技术推向一个新的层次。

参考文献:

- [1] MÁRQUEZ J J. An introduction to virtual reality [EB/OL]. [2009-09-02]. <http://www.docstoc.com/docs/30546343/An-Introduction-to-Virtual-Reality>.
- [2] 李月松.光学分析仪成就虚拟翻书国内尖端技术[EB/OL].(2009-06-18)[2009-07-20].<http://article.pchome.net/content-904633.html>.
- [3] 陈成钱.基于投影仪—红外摄像机的多点触控系统[D].杭州:浙江大学,2008.
- [4] PINHANEZ C. Augmenting reality with projected interactive displays [EB/OL]. [2009-08-05]. <http://www.research.ibm.com/ed/publications/vaa01.pdf>.
- [5] 杨枝灵,王开. Visual C++ 数字图像获取、处理及实践应用[M].北京:人民邮电出版社,2003:134-137, 173-175.
- [6] 袁懿弘,吴锡生. 基于去噪阈值的图像平滑模糊算法方法研究[J].计算机工程与设计,2005,26(7):1837-1839.
- [7] 何斌,马天予,王运坚. Visual C++ 数字图像处理[M].北京:人民邮电出版社,2002:263-281.
- [8] 郑南宁.计算机视觉与模式识别[M].北京:国防工业出版社,1998:5-11.
- [9] (美)PAVLIDIS T. 结构模式识别[M].张寿萱,徐立明,译.上海:上海科学技文献出版社,1981:5-7.
- [10] 崔振军,张显全. 一种二值图象边界提取算法[J].微计算机信息,2006,22(30):281-283.

参考文献:

- [1] BERTALMIO M, SAPIRO G, CASELLES V, et al. Image inpainting [C/OL]// Proceedings of International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New Orleans, Louisiana, USA: [s. n.], 2000: 417-424 [2009-08-12]. <http://www.iua.upf.es/~mbertalmio/bertalmi.pdf>.
- [2] BERTALMIO M, BERTOZZI A L, SAPIRO G. Navier-Stokes, fluid dynamics, and image and video inpainting [C]// CVPR'01: Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Press, 2001, 1: 355-362.
- [3] BALLESTER C, BERTALMIO M, CASELLES V, et al. Filling-in by joint interpolation of vector fields and gray levels [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(8): 1200-1211.
- [4] CHAN T F, SHEN JIANHONG. Mathematical models for local non-texture inpaintings [J]. SIAM Journal on Applied Mathematics, 2001, 62(3): 1019-1043.
- [5] RUDIN L I, OSHER S, FATEMI E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms [J]. Physica D, 1992, 60(1/4): 259-268.
- [6] 许威威,潘志庚,张明敏.一种基于整体变分的图像修补算法[J].中国图象图形学报:A辑,2002,7(4):351-355.
- [7] 郑精灵,王树根.整体变分算法在图像修补中的应用研究[J].计算机辅助设计与图形学学报,2003,15(10):1219-1223.
- [8] 张福美.整体变分模型在矢量图像修复中的应用[J].计算机应用,2008,28(4):993-994.
- [9] 张福美,潘振宽,魏伟波.基于整体变分模型的矢量图像修复[J].计算机工程,2008,34(8):223-225.
- [10] RUDIN L, OSHER S. Total variation based image restoration with free local constraints [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE Press, 1994: 31-35.
- [11] 张泉岭,王茂祥,吴乐南.图像恢复的新方法——变分法[J].电子工程师,1999, 25(11):12-14.