

文章编号: 1672-2892(2012)01-0103-04

基于邻近像素点和小波去噪的岩心图像修复

刘金明, 吴晓红, 滕奇志

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘 要: 针对破损的岩心图像修复问题, 提出了一种基于邻近像素点和小波去噪的岩心图像修复算法。计算待修复像素点的优先权来确定填充修复的顺序; 利用待修复像素点周围的邻近信息和改进的加权函数进行像素点修复; 对修复后的岩心图像进行小波去噪处理。算法将图像修复和小波去噪相结合, 更好地实现了图像修复的目的。

关键词: 岩心图像修复; 邻近像素点; 权值计算; 小波去噪

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

Core image inpainting based on neighborhood pixels and wavelet de-noising

LIU Jin-ming, WU Xiao-hong, TENG Qi-zhi

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

Abstract: In order to repair the broken core image, this paper proposes an inpainting algorithm based on neighborhood pixels and wavelet de-noising. Firstly, the priorities of the pixels which need repairing are calculated in order to determine the filling and inpainting order; then, the pixels are repaired with the neighboring information and the improved weighting function; finally, the de-noising of the restored core image is performed by wavelet de-noising. The algorithm combines image inpainting and wavelet de-noising, and obtains excellent results in repairing experiments.

Key words: core image inpainting; neighborhood-pixels; calculation of weight; wavelet de-noising

岩心是岩石的剖面截取物, 是地质研究和石油勘探中珍贵的实物地质资料之一。为了供专家更方便地进行研究分析, 岩心实物资料数字化已经成为一种趋势。在实际工作中, 由于数字资料往往存在信息丢失等问题, 研究人员不能获得完整的岩心图像信息。为了保证岩心图像信息的完整性, 图像修复技术在岩心图像处理过程当中起到了至关重要的作用。图像修复技术是指对图像缺失的部分, 根据已知的图像信息按照某种算法模型进行修复, 并使修复后的图像尽可能接近原始图像。随着计算机技术的发展, 这项技术已经被应用到多个领域。目前已有多种图像修复的算法和模型, 其中主要包括 BSCB(Bertalmio, Sapiro, Caselles, Ballester)模型, 基于 3 阶偏微分方程(Partial Differential Equations, PDE)的方法、总体变分方法(Total Variation, TV)^[1]等。文献[2]利用修复区域与周围邻近信息的相关性, 通过计算待修复点的优先度来确定填充顺序, 对优先度大的点优先进行修复。并按照已知像素点的等照度线的方向, 不断向待修复区域内扩散, 直到待修复区域为空为止。该算法实现比较简单, 运算速度快。但是在图像修复过程中, 由于加权函数的设计以及部分像素点修复时会被噪声污染, 因此会造成图像边缘特性变差和图像模糊。为了减小或避免以上问题的影响, 根据文献[2]的算法, 本文对待修复像素点的加权函数进行了一定的改进, 并引入小波去噪算法。通过仿真实验表明, 本文算法取得了较好的图像修复效果。

1 算法描述

1.1 修复算法数学模型

图 1 中, 对于待修复图像 I , 设需要修复的区域为 D , ∂D 表示修复区域的边界, 点 p 为边界上的 1 点, 在点 p 的邻域内取边长为 a 的方窗 $\Psi(p)$, 在这里令 $N(p) = \Psi(p) \cap (I - D)$, 那么 $N(p)$ 可以看作是点 p 邻域内已知像素点的集合。修复点 p 的颜色值可根据已知邻近像素点的信息进行估算。首先对边界上的点进行优先权计算, 并按

收稿日期: 2011-07-29; 修回日期: 2011-09-09

基金项目: 中央高校基本科研业务费资助项目(2009SCU11009); 四川省科技支撑计划资助项目(10ZC0968)

照优先权由大到小的顺序依次对其填充修复,当修复完1条边界后,再重新计算得到新的边界,按照同样的方法进行像素点修复,直到整幅图像修复完毕。点 p 颜色值的估算值为它周围邻域内已知像素点的信息的线性加权组合,算法模型^[3-4]如下式所示:

$$I(p) = \frac{\sum_{q \in N(p)} w(p, q) I(q)}{\sum_{q \in N(p)} w(p, q)} \quad (1)$$

式中: $I(p)$ 为点 p 的颜色值的估算值;点 q 为点 p 邻域内已知的像素点; $w(p, q)$ 为加权函数。

1.1.1 边界点优先权的计算

优先权的大小取决于置信度 $C(p)$ 和数据因子 $D(p)$ 。 $C(p)$ 反映了点 p 邻域中已知像素点所占的比重,可以保证那些包含已知像素点数较多的模块优先修复;而 $D(p)$ 反映了所选取的邻域模块的结构信息的强弱。算法实现过程中,首先找到修复区域边界上的像素点,并以每个像素点为中心的邻域内取1个大小为 $a \times a$ 的像素方窗(本文中取 $a=5$),计算每1个像素块的优先权。优先权定义^[5]为:

$$P(p) = C(p)D(p) \quad (2)$$

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in N(p)} B(q)}{|\psi(p)|}, \quad D(p) = \frac{|\nabla \mathbf{I}_n^\perp \cdot \mathbf{v}_{np}|}{\alpha} \quad (3)$$

式中: $|\psi(p)|$ 是点 p 邻域内像素点的个数; $B(q)$ 的初始化函数为: $B(q) = \begin{cases} 0, & \forall q \in D \\ 1, & \forall q \in I-D \end{cases}$;这里定义点 n 为点 p 的

邻域方窗内梯度值最大的点,那么 $\nabla \mathbf{I}_n^\perp$ 为边缘梯度向量,它的方向为等照度线的方向,即为灰度值变化最小的方向,与点 n 的梯度方向垂直。另外 \mathbf{v}_{np} 是点 n 和点 p 连线方向的单位向量; α 为归一化因子($\alpha=255$)。

1.1.2 加权函数的设计

为了使修复后的图像能够具有较好的边缘特性和清晰度,那么待修复点邻域内位置不同的各个像素点对应的权值应该有所不同,因此加权函数^[2]的设计在图像修复过程中尤为重要。本文定义加权函数 $w(p, q)$ 的表达式如下:

$$w(p, q) = \text{dir}(p, q) \cdot \text{cor}(p, q) \cdot \text{dis}(p) \quad (4)$$

式中:点 p 为待修复点;点 q 为点 p 邻域所取方窗内已知的像素点;各分量公式为:

$$\text{dir}(p, q) = \frac{(p-q)}{|p-q|} \cdot \mathbf{n}_p, \quad \text{cor}(p, q) = \frac{1/d_{pq}}{\sum_{q \in N(p)} (1/d_{pq})}, \quad \text{dis}(q) = \frac{1}{1+T(q)} \quad (5)$$

式中: $\text{dir}(p, q)$ 描述了边界法向量方向上的点对待修复点的影响,可以看出与边界法向量方向接近的点对点 p 的贡献越大; \mathbf{n}_p 为点 p 的单位法向量; $\text{cor}(p, q)$ 为本文自定义的像素点 p 的邻域相关系数,它表明了距离点 p 越近的对点 p 的修复影响越大; d_{pq} 为 p, q 两点几何距离; $\text{dis}(q)$ 描述了点 q 到修复区域边界的距离对点 p 的影响,其中 $T(q)$ 为点 q 到修复区域边界的距离。

1.2 基于小波阈值的图像去噪

小波阈值图像去噪^[6-7]的目的是为了尽量保留修复后图像的边缘和细节,没有被噪声影响的像素点保留其像素值,噪声点进行替换。

1.2.1 小波阈值去噪的原理和方法

小波阈值去噪的原理是:利用小波的多尺度分析的性质,将图像分解为小波域不同尺度下的频域成份;然后选取1个合适的阈值,保留大于该阈值的小波系数,把小于该阈值的小波系数置零,从而使信号中的噪声得到有效的抑制;最后进行图像重构,达到图像去噪的目的。

小波阈值去噪的一般步骤:a)首先选择合适的小波对图像进行小波分解,获得其小波系数;b)根据设置的阈值,对小波系数进行阈值处理,去除噪声;c)根据处理后得到的小波系数重建图像。

1.2.2 阈值和阈值函数的选择

在小波阈值去噪中,核心就是对分解后的小波系数处理时的阈值和阈值函数的选取。它们的选择直接影响到图像去噪的效果。

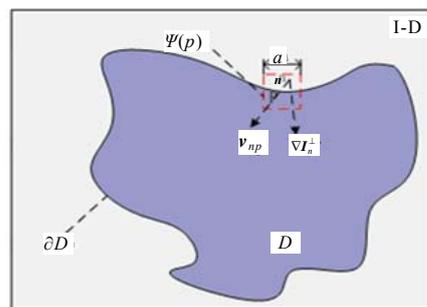


Fig.1 Principle diagram of inpainting algorithm
图1 修复算法原理示意图

a) 阈值的设定

阈值的选取对于小波阈值去噪相当关键。阈值选取得过大,会使有用的高频信息丢失,使图像变得模糊;而阈值选取得过小,会使去噪效果变差。目前使用的阈值可以分为全局阈值和局部适应阈值。全局阈值对各层所有的小波系数或同一层内的小波系数都是统一的;局部适应阈值是根据系数周围的局部信息来确定阈值。

本文选用 VisulShrink 方法,它是由 Donoho 和 Johnstone 提出的小波门限值。

$$T = \sigma \sqrt{2 \ln(N)} \quad (6)$$

式中: σ 是噪声的标准差; N 是图像的大小。

b) 阈值函数的选择

在阈值去噪中,阈值函数体现了对几种系数的不同处理策略,经典的阈值函数主要包括硬阈值函数、软阈值函数和半软阈值函数等。硬阈值去噪方法可以很好地保留图像边缘局部特性,但图像会出现振铃、伪吉布斯效应等视觉失真,而软阈值方法处理结果则相对平滑,但此方法可能会造成边缘模糊等失真现象。所以本文采用半软阈值函数:

$$\varphi_T(\omega) = \text{sgn}(\omega) \frac{T_2(|\omega| - T_1)}{T_2 - T_1} I(T_1 < |\omega| < T_2) + \omega I(|\omega| > T_2) \quad (7)$$

式中: ω 是原始小波系数; $\varphi_T(\omega)$ 表示阈值化后的小波系数; T_1, T_2 为阈值; I 代表示性函数。

1.3 算法的实现过程描述

通过前面的分析,本文图像修复算法描述如下:

- 读入需要修复的图像和该图像的掩膜图像;
- 根据掩膜图像信息计算得到修复区域及其边界 ∂D ;
- 根据公式(2)计算得到边界 ∂D 上各像素点的优先权;
- 按照优先权由大到小的顺序,根据式(1)描述的算法对边界 ∂D 上的像素点进行修复;
- 修复完成后,计算更新边界 ∂D ,如果 ∂D 为空,则修复完毕;否则,转到第(c)步继续修复;
- 对修复完成后的岩心图像进行小波去噪处理。

2 实验结果及分析

本文对破损的彩色岩心图像进行了相关实验,并与文献[2]中提出的算法进行了实验结果比较。实验环境为 Celeron D315 2.26 GHz, 1 G 内存,实验仿真工具为 MATLAB 7.0。

仿真实验结果图像见图 2~图 3,相关仿真实验统计数据见表 1。

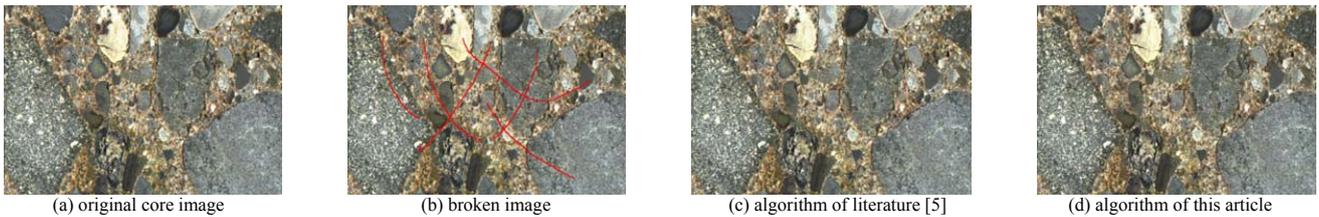


Fig.2 Experiment results of core image inpainting (1)
图 2 岩心图像修复实验图(1)

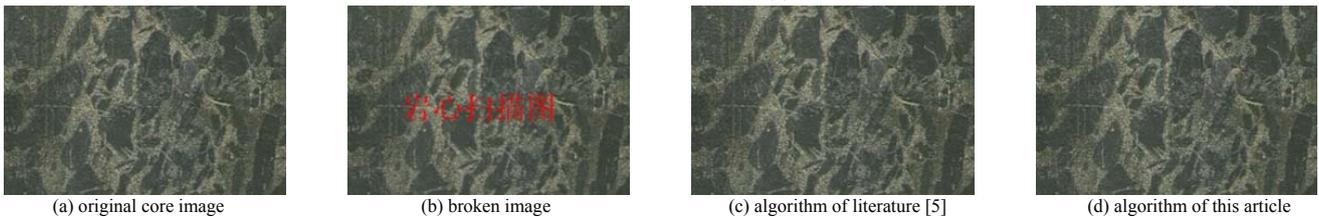


Fig.3 Experiment results of core image inpainting (2)
图 3 岩心图像修复实验图(2)

PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)为峰值信噪比^[8],它是一种对修复图像结果的评价方法。由图 2~图 3 和表 1 可以看出,本文算法对于小区域的岩心图像修复与文献[2]相比,PSNR 明显提高,修复效果得到明显的改善。可以看出,文献[2]仅仅对图像进行了修复,并未做任何处理,图像在修复过程中会引入许多噪声,对图像质量造

成一定的影响；本文对加权函数进行了一些改进，并引入小波去噪算法去除在修复过程中引入的噪声，更好实现了对岩心图像的修复。实验结果表明，本文算法将图像修复和小波去噪相结合，有效保留了图像的边缘特性，比仅仅进行图像修复，得到了更好的图像修复效果。

表1 实验数据统计表
Table1 Statistics of experiment

name of image	size(width×height)	number of mask pixels	time consumption/s	PSNR	
				algorithm of literature [5]	algorithm of this article
core image(1)	695×414	4 467	113.303	85.649	87.344
core image(2)	582×393	3 274	82.739	99.855	101.280

3 结论

本文采用基于邻域像素点的图像修复数学模型，在以往研究的相关算法基础上，对修复算法的加权函数做了一定的改进，并引入了小波去噪算法。通过仿真实验，得到了满意的实验效果。实验结果表明本文算法能够很好地修复岩心图像中破损的信息，可以在石油和地质部门对岩心图像的处理中起到一定作用。但由于本文算法是针对狭长型小区域图像进行修复，对于较大的区域修复能力不足，因此在以后的研究中还有许多地方需要改进。

参考文献：

- [1] Chan T, Shen J. Mathematical Models for Local Non-Texture Inpainting[J]. SIAM J. Appl. Math., 2001, 62(3):1019-1043.
- [2] 檀结庆, 汪忠庆. 一种新的基于邻近像素点的图像修复算法[J]. 合肥工业大学学报, 2006, 29(9):1072-1076.
- [3] Bertalmio M, etozzi A L, Spairo G. Navier-stokes, Fluid Dynamics, and Image and Video Inpainting[C]// Proc. Conf. Comp. Vision Pattern Rec. Kauai, HI: [s.n.], 2001:355-362.
- [4] Celia A Zorzo Barcelosa, Marcos Aure'lio Batista. Image restoration using digital inpainting and noise removal[J]. Image and Vision Computing, 2007, 25:61-69.
- [5] 李杏梅, 陈亮. 小波阈值去噪在图像去噪中的应用[J]. 现代计算机, 2006(10):78-80.
- [6] 周春霞, 无锡生. 基于方差和边缘插值的邻近点图像修复算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(14):184-186.
- [7] 周静, 陈允平, 周策, 等. 小波系数软硬阈值折中方法在故障定位去噪中的应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(1):65-68.
- [8] Shih TK, Chang Rongchi, Lu Liangchen, et al. Adaptive Digital Image Inpainting[C]// Proc. of the 18th IEEE Int'l Conference on Advanced Information Networking and Applications. [S. l.]: IEEE Press, 2004:71-76.

作者简介：



刘金明(1987-), 男, 山东省临沂市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为计算机应用及图像处理. email: liujinming0328@163.com.

吴晓红(1971-), 女, 成都市人, 博士, 讲师, 主要研究方向为计算机图像识别.

滕奇志(1961-), 女, 成都市人, 教授, 博士, 主要研究方向为数字图像处理、模式识别、计算机应用、生物医学图像等.