

文章编号: 2095-4980(2014)02-0272-04

基于渗流模型的成像测井裂缝提取算法

韦宇飞, 吴晓红, 袁传虎, 刘如奎

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘要: 针对成像测井图像成分复杂, 噪声多导致裂缝提取效果不佳的问题, 提出基于渗流模型的成像测井裂缝提取算法。该算法把成像测井图像裂缝像素点之间的连续性作为成像测井裂缝提取的主要依据, 通过对初始像素点进行不断渗流, 产生一个与初始像素点相关性极强的线性渗流区域, 再通过计算该渗流区域像素点的渗流参数来判断当前像素点是否属于裂缝上的目标。实验表明, 基于渗流模型的成像测井裂缝提取算法能有效抑制噪声和剔除孔洞等非裂缝物质, 能在复杂成像测井图像中准确地提取裂缝。

关键词: 渗流模型; 成像测井; 裂缝; 渗流参数

中图分类号: TN911.73; TP391.41

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201402.0272

Extraction algorithm of imaging well logging crack based on percolation model

WEI Yu-fei, WU Xiao-hong, YUAN Chuan-hu, LIU Ru-kui

(College of Electronic and Information, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China)

Abstract: Most image segmentation algorithms for extraction of the imaging well logging crack are ineffective because of the complex composition and noises. A new extraction algorithm for imaging well logging crack based on percolation model is proposed. The algorithm uses the continuity of the crack pixels as the basis for extraction, and a linear seepage area that is closely related to the initial pixel is generated through the gradual percolation of the initial pixel. Then, by calculating the percolation parameters of the pixels in percolation area to determine whether the current pixel is the target of the crack. Experimental results show that the proposed algorithm can effectively suppress noises and remove holes and other substances, as well as can extract cracks accurately in complex imaging well logging images.

Key words: percolation model; imaging well logging; cracks; percolation parameter

地质岩心裂缝是指地质中的岩石受外力作用发生轻微破裂, 而裂痕两侧没有发生明显断裂错位的一种地质断裂构造^[1]。随着能源的稀缺, 油田勘探和开采将日益重要, 岩心裂缝作为油、气和水等的贮藏地, 将逐渐成为今后石油和天然气勘探和开采的重要课题和研究对象。以往的岩心裂缝图像是通过专业的钻井设备把岩心取出地面后, 再由采集系统装置采集得到, 但岩心受运输、存储和气候等影响, 得到的图像无法反映岩石在地质中的真实情况^[2]。成像测井技术是随着传感技术和地下探测技术的发展而发展起来的, 是目前世界上最新的测井技术。成像测井技术的基本原理是利用阵列传感器对岩心井壁及井周围进行采集, 然后把采集到的图像通过设备传输到地面, 得到井壁或井周围的成像测井图像^[3]。成像测井图像真实地反映了地下岩心情况, 对石油探测和开发有重大意义。成像测井裂缝图像成分复杂, 存在严重的噪声和孔洞等细小物质, 导致常用分割算法提取到的裂缝效果极差。人工提取算法, 依靠用户主观观测、手动测量, 不仅裂缝提取效率低, 而且测量得到的数据与真实数据存在较大误差。阈值分割算法^[4], 又分为基于整幅图像信息的全局分割阈值算法和基于子模块图像信息的局部分割阈值算法, 阈值分割算法通过不同方法计算得到一个或多个阈值, 再根据阈值把图像分割成不同的类, 此算法提取裂缝速度快, 但很难获取到最佳的阈值, 而且受噪声和孔洞等物质影响, 提取的裂缝掺杂许多噪声, 缺乏连续性。常用的图像边缘信息检测算子(如Sobel算子、Laplacian算子、Roberts算子、Kirsch算子等)对噪声非常敏感且对边缘信息定位精确度不准确^[5]。图像边缘的相位信息具有一致性, 相位一致分割算法正是一种考虑图像边缘信息

收稿日期: 2013-07-23; 修回日期: 2013-08-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60972130)

相位变化的边缘检测算法,该算法能有效抑制噪声和孔洞等物质对裂缝的影响,但提取出来的裂缝仍缺乏连续性^[6]。

针对以上算法提取成像测井裂缝效果不理想的问题,本文提出基于渗流模型的成像测井裂缝提取算法。该算法在充分考虑成像测井裂缝像素点之间连通性的同时,能够抑制图像噪声和孔洞等细小物质影响,依次遍历整幅成像测井图像的像素点,通过计算每个像素点的渗流参数来判断该像素点是否属于裂缝目标点。

1 渗流模型

1957年, Hammersley J M和Broadbent S R参照液体渗透的自然现象建立了渗流统计模型。渗流是指不同流体通过裂隙介质或者裂缝介质的流动,也是一种与人类一些工程活动密切相关的现象^[7]。渗流相关理论在工程实施和应用科学领域有广泛的应用,如环境工程、建筑工程、土壤力学、地质科学等。在人造材料和自然界中,渗流现象也普遍存在,如陶瓷、砖石、填充床的渗流;盐水、热水和地下水等的渗流;地质油气的渗流;动物体内糖分、水分、血液等的渗流输送等。液体的渗流现象如图1所示。

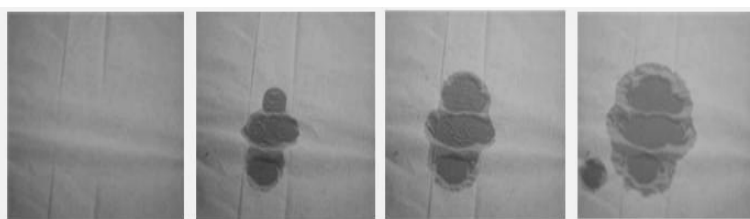


Fig.1 Liquid percolation phenomenon^[8]

图1 液体渗流现象图^[8]

渗流过程从渗流起点开始,然后根据实际情况逐渐向各个方向进行渗流。随着渗流面积的不断增大,渗流过程受到外部环境条件的限制,会逐渐减缓直至结束,最终形成一片相关性非常强的渗流区域。渗流模型是一种由点及面的模型,渗流起始点与最终形成的渗流区域具有极强的相关性。

2 渗流算法在成像测井裂缝提取中的应用

2.1 渗流算法^[9]过程

基于渗流模型的成像测井裂缝提取算法的目的是为了抑制噪声和孔洞等非裂缝物质的影响,同时保持裂缝连续性,该渗流过程是对每一个像素点进行一次完整的渗流。渗流算法在成像测井图像裂缝提取中的具体过程如下:

1) 将待分析成像测井图像转化成灰度图像,接着进行阴影校正和自动平衡处理。初始化灰度图像每个像素点的形状因数 F_c 为0,设置渗流区域形状特征阈值 F_s 。

2) 初始化渗流区域的轴长最大值为 M ,最小值为 N 。选择当前像素点作为渗流处理的起始像素点 p_0 ,渗流形状特征阈值初始化为 p_0 的亮度,即 $T = T(p_0)$,设置步长为 W 。

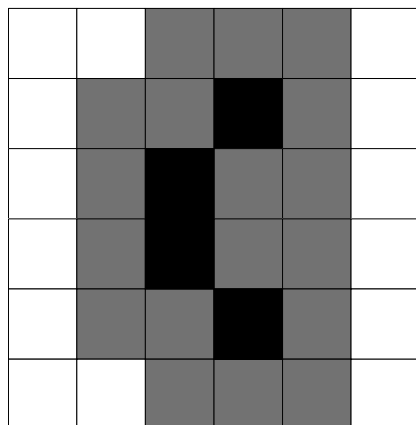


Fig.2 Percolation area and percolation neighbouring area

图2 渗流区域和渗流邻域

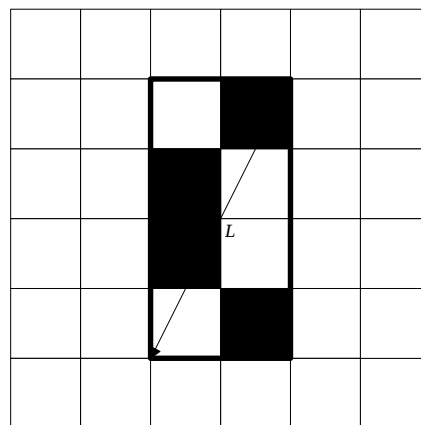


Fig.3 Axial length of Percolation area

图3 渗流区域轴长

渗流区域是指渗流得到的目标像素点,如图2黑色像素组成的区域为渗流区域 D_c ;渗流区域内每个像素点的

八邻域组成的区域为渗流邻域 D_p ，即图2的灰色像素组成的区域。渗流区域轴长 L 是指渗流过程所形成的渗流区域的外接矩形的对角线长度，如图3箭头表示的长度。

3) 在当前渗流区域 D_c 的邻域 D_p 中，若有像素的亮度值小于该次的渗流形状特征阈值 T ，则该像素归并到当前渗流区域 D_c 中，若渗流邻域 D_p 中的像素亮度值均没有小于特征阈值 T ，则把渗流邻域 D_p 中亮度值最小的像素归并到渗流区域 D_c 中。

4) 判断是否是第一次迭代过程，如不是，则跳转到步骤6)；

5) 如果渗流邻域中涵盖了背景像素点(形状因数 $F_c=1$)，则此次渗流的起始像素点作为背景点，设置 $F_c=1$ ；渗流过程结束。

6) 根据公式(1)计算渗流区域 D_c 的形状因数 F_c 。

$$F_c = \frac{4C_{\text{num}}}{\pi L^2} \quad (1)$$

式中： C_{num} 是属于当前渗流区域 D_c 中的像素的总数目； L 为渗流区域的轴长； π 取值 3.141 592 6。 F_c 越小，表示渗流区域越趋于线性，渗流区域的像素点越接近于裂缝像素点，否则渗流区域的像素点更接近于背景点。

7) 根据公式(2)和公式(3)更新渗流形状特征阈值 T 。

公式(2)计算的 W 表示步长，用于调节渗流的速度。渗流区域趋于线性时， F_c 小，得到的 W 也小，渗流速度减慢；渗流区域非线性时， F_c 大，得到的 W 也大，渗流速度加快。公式(3)是 T 的更新值，取渗流区域像素点亮度最大值和此次的 T 值两者中的较大者加上步长 W' 。

$$W' = WF_c \quad (2)$$

$$T = \max\left(\max_{p \in D_c}(T(p)), T'\right) + W' \quad (3)$$

8) 计算渗流区域 D_c 的轴长 L ，如果 L 小于等于 N ，渗流过程跳转到步骤3)继续运行。

9) 轴长 $N = N + 2$ 。若 $F_c > F_s$ ，则渗流起始像素点被认为是背景像素点， F_c 设置为 1，渗流过程结束。

10) 在渗流区域 D_c 的邻域 D_p 中，若有像素点亮度值小于 T ，则把该像素归并到渗流区域 D_c 中。若渗流邻域 D_p 中不存在亮度值小于 T 的像素点，跳转到步骤15)继续运行。

11) 计算渗流区域 D_c 的轴长 L 。

12) 判断轴长 L 是否大于 N ，若大于 N ，则 $N = N + 2$ ，跳转到步骤14)。

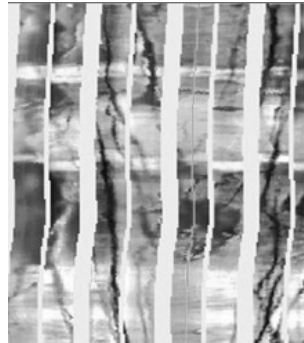
13) 根据公式(3)更新渗流形状特征 T ，跳转到步骤10)，继续渗流。

14) 判断 N 是否大于 M ，若 $N < M$ ，则跳转到步骤13)。

15) 计算渗流起始像素点的形状因数 F_c ，一次完整的渗流过程结束。

2.2 实验结果及分析

一次完整的渗流过程是对一个像素点的处理，计算当前像素点的形状因数 F_c ，整幅图像要循环对每一个像素点进行渗流过程。由公式(1)可知，孔洞等非裂缝目标的形状因数 F_c 大，线性裂缝的形状因数 F_c 小。为了便于观察，处理后像素点的亮度值赋为 $F_c \times 255$ 。算法程序中初始化渗流区域的轴长最大值为 $M = 40$ ，最小值为 $N = 21$ ，形状特征阈值 $F_s = 0.3$ 。在实际工程应用中，目标像素点的选择由阈值 T 决定。图4所示渗流算法以亮度值小于 50 的点作为目标像素点。图4(a)中黑色像素点构成裂缝，对图4(a)分别进行：(b) 单阈值算法提取裂缝，



(a) original imaging well logging crack



(b) extraction of threshold algorithm



(c) extraction of phase coincidence algorithm



(d) extraction of percolation algorithm

Fig.4 Extraction of the imaging well logging crack

图 4 成像测井裂缝提取效果图

图 4 所示渗流算法以亮度值小于 50 的点作为目标像素点。图4(a)中黑色像素点构成裂缝，对图4(a)分别进行：(b) 单阈值算法提取裂缝，

(c) 相位一致算法提取裂缝, (d) 渗流算法提取裂缝, 提取的目标像素点用黑色标注, 各算法提取效果见图4。

由实验效果图可以得出: 单阈值算法是针对成像测井图像灰度信息的阈值提取, 提取的裂缝效果较差, 噪声多, 且提取到的裂缝不呈现线性; 相位一致算法是针对成像测井图像相位信息的边缘进行提取, 图像边缘信息的相位具有一致性, 提取到的成像测井裂缝噪声多, 受细小孔洞等的影响大, 裂缝提取效果不理想; 基于渗流模型的成像测井裂缝提取算法充分考虑了成像测井裂缝像素点之间的连通性, 该算法能有效抑制噪声和非裂缝等的影响, 提取到的成像测井裂缝具有明显的线性, 效果满意。

3 结论

在实际工程应用中, 针对成像测井图像成分复杂, 噪声多, 导致裂缝提取效果不佳的工程问题, 提出基于渗流模型的成像测井裂缝提取算法。基于渗流模型的成像测井裂缝提取算法充分考虑了裂缝像素点之间的连通性, 并能很好地抑制噪声和剔除细小孔洞等的影响, 提取到较为满意的成像测井图像裂缝, 对地质、石油等相关研究起到了重要作用。在实际工程应用中应该进一步提高成像测井图像裂缝提取的时间效率。

参考文献:

- [1] 王任一, 敖先锋, 石晓燕, 等. 基于图像处理技术的岩心裂缝图像提取[J]. 新疆地质, 2006, 24(4): 458-459. (WANG Ren-yi, AO Xian-feng, SHI Xiao-yan, et al. Acquiring core fissure images using image processing technology[J]. Xinjiang Geology, 2006, 24(4): 458-459.)
- [2] 高超, 王正勇. 基于 Beamlet 的岩心裂缝提取算法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2010, 8(2): 186-189. (GAO Chao, WANG Zheng-yong. Beamlet-based method of extraction from core fissures images[J]. Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2010, 8(2): 186-189.)
- [3] 张程恩. 成像测井裂缝识别与提取及裂缝参数计算方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012. (ZHANG Cheng-en. Study on Fracture Recognition and Extraction Based on Image Log Data Processing and Fracture Parameters Calculation[D]. Changchun: Jilin University, 2012.)
- [4] 陈宁宁. 几种图像阈值分割算法的实现与比较[J]. 电脑知识与技术, 2011, 17(13): 3109-3111. (CHEN Ning-ning. Achieve and Comparison of Image Segmentation Thresholding Method[J]. Computer Knowledge and Technology, 2011, 17(13): 3109-3111.)
- [5] 孙先达, 黄其坤, 王璞珺. Canny 算法在岩心图像边缘检测中应用[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2009, 6(2): 268-270. (XUN Xian-da, HUANG Qi-kun, WANG Pu-jun. Canny based algoth of extraction for core image edge detection[J]. Journal of Yangtze University: Nat Sci Edit, 2009, 6(2): 268-270.)
- [6] 李雪菲. 基于相位一致性的图像轮廓提取算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2011. (LI Xue-fei. A contour detection model based on phase congruency[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2011.)
- [7] 祝云华, 刘新荣, 梁宁慧, 等. 裂隙岩体渗流模型研究现状与展望[J]. 工程地质学报, 2008, 16(2): 178-183. (ZHU Yun-hua, LIU Xin-rong, LIANG Ning-hui, et al. Current research and prospect in modeling seepage field in fractured rock mass[J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(2): 178-183.)
- [8] Tomoyuki Yamaguchi. A Study on Image Processing Method for Crack Inspection of Real Concrete Surfaces[D]. Tokyo: Waseda University, 2008.
- [9] 袁传虎. 地质实物图像裂缝提取技术研究[D]. 成都: 四川大学, 2012. (YUAN Chuan-hu. Research on Crack Extraction in Geological Image[D]. Chengdu: Sichuan University, 2012.)

作者简介:



韦宇飞(1987-), 男, 广东省茂名市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为模式识别和图像处理. email: 434539233@qq.com.

吴晓红(1970-), 女, 四川省射洪县人, 博士, 副教授, 主要研究方向为计算机图像识别。

袁传虎(1986-), 男, 湖南省衡阳市人, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理和模式识别。

刘如奎(1987-), 男, 河南省信阳市人, 硕士研究生, 主要研究方向为电子与通信工程。