

文章编号: 1672-2892(2010)02-0186-04

基于 Beamlet 的岩心裂缝提取算法

高超, 王正勇

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘要: 提出了一种基于多尺度 Beamlet 变换的岩心裂缝图像提取算法。首先, 将采集到的灰度岩心裂缝图像, 用大津阈值分割算法转换为二值图像, 再利用 Beamlet 变换, 通过选取不同的尺度和检验阈值, 从二值图像中提取裂缝的线性特征, 并根据像素统计出裂缝的相关分析数据。实验结果表明, 此算法能在较复杂的岩心背景和噪声干扰情况下提取清晰的岩心裂缝, 效果满意。

关键词: Beamlet 变换; 大津阈值分割算法; 岩心图像; 裂缝提取

中图分类号: TN911.73; TP391

文献标识码: A

Beamlet-based method of extraction from core fissures images

GAO Chao, WANG Zheng-yong

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

Abstract: This study proposed a Beamlet-based method of extraction from core fissures images. Firstly, the collected core fissures images were transferred to the binary images using Otsu's thresholding segmentation algorithm, then the Beamlet transform was exploited to extract the linear features of fissures from the binary images with different scales and thresholds, and the relevant analytical data of fissures were added up according to pixel values. The results showed that the proposed method could extract clear images of core fissures in the cases of complex core backgrounds and noises, achieving satisfactory performance.

Key words: Beamlet transform; Otsu's thresholding segmentation algorithm; core images; fissures extraction

随着油田勘探程度的不断提高, 裂缝油气藏将逐渐成为今后油气勘探的重要领域和后备阵地, 研究储层裂缝将日益受到重视^[1]。如何准确地将裂缝目标从复杂背景的岩心图像中提取出来, 是这一研究的关键。岩心裂缝图像由电荷耦合器件(Charge Coupled Device, CCD)采集头摄取, 由于岩石岩性、岩心劈开面粗糙程度、光照等噪声影响, 裂缝的线性特征提取及精确描述一直是个难题, 亟待引入新方法加以解决。图像阈值分割即二值化方法是解决裂缝目标提取的常用方法, 然而, 由于岩心图像噪声污染严重且提取过程中受复杂背景等因素影响, 目前, 还没有一种有效的二值化方法能对岩心图像裂缝进行有效提取。鉴于此, 本文提出, 先引入大津阈值分割算法对目标图像实施阈值分割, 初步滤除噪声, 再对所得图像进行 Beamlet 变换, 进一步滤除噪声和细小孔洞的干扰, 提取出目标区域, 并且可根据不同程度的裂缝分析要求, 选择不同的尺度进行检测。

1 Beamlet 变换理论

Beamlet 理论是由 Donoho 等提出的一种多分辨率图像分析框架^[2-3], 可大致分为 Beamlet 变换和 Beamlet 图像分区算法。相较于传统的 Wavelet 变换, Beamlet 变换能更有效地提取图像的线性特征。

1.1 Beamlet 词典

Beamlet 构造了一个特殊的、与 $n \times n$ 大小图像相关联的线段集合。Beamlet 的集合 $B_{n,\delta}$ 是一个多尺度的在一定范围内的位置、方向和尺度下二进组织的线段库。它的产生步骤如下^[4]:

收稿日期: 2009-09-08; 修回日期: 2009-11-28

基金项目: 四川省科技攻关资助项目(05GG 021-026-03)

1) 递归二进分割

对一个 $n \times n$ 图像, 定义图像边长为单位长度, 则 $n \times n$ 像素全部落在单位块 $[0,1]^2$ 内。在尺度 $0 \leq j \leq J$ 上, 将图像块 $[0,1]^2$ 分为 2^{2j} 个二进方块, 每个二进方块的边长为 $2^{-j} \geq 1/n$, 固定分辨率为 $\delta = 2^{-j-k}$ ($k \leq 0, \delta \geq 1/n$)。

2) 标记顶点

对 2^{2j} 个二进方块的每一个, 从右上角开始沿边缘按逆时针方向每隔 δ 距离标记点, 对边长为 2^{-j} 的方块, 可标记点的数目为 $M_j = 4 \times 2^k \times 2^{j-k}$ 个。其中 δ 的大小事先确定(本文取单位像素距离), 且不因正方形边长的大小而改变, 不管什么尺度上的正方形, 相邻顶点的距离都是 δ 的整数倍。

3) 连接点

在每一个子正方形里连接任一对顶点, Beamlet 就是指任一对标记点的连线。所有 Beamlet 构成的集合就称为 Beamlet 词典。在尺度 j 上, Beamlet 的数目为 $6(2^{k+J-j}-1)^2 + 8(2^{k+J-j}-1) + 2$ 。不同尺度的 Beamlet, 如图 1 所示。

端点在单位正方形 $[0,1]^2$ 中的任何线段可以用 Beamlet 链条 (b_1, b_2, \dots, b_m) 来逼近。其中, $b_i \in B_{n,\delta}$, 这里 Beamlet 的个数小于 $8 \log_2(n), n > 2$, 如图 2 所示。

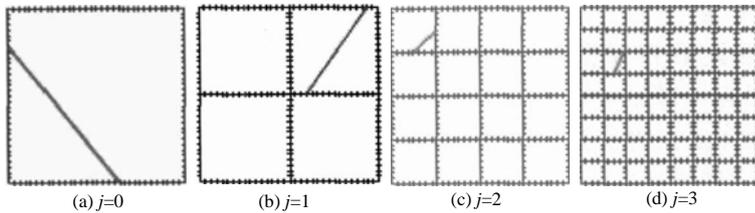


Fig.1 Beamlets at different scales, locations and directions
图 1 不同尺度、位置和方向下的 Beamlets

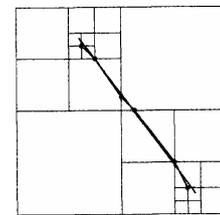


Fig.2 Approximation to segment with a series of Beamlet
图 2 由一系列 Beamlet 逼近线段

1.2 Beamlet 变换

1.2.1 连续 Beamlet 变换

记 $f(x_1, x_2)$ 为空间 $[0,1]^2$ 上的连续图像函数。 f 的 Beamlet 变换包括了它在所有 Beamlet 线段 $b \in B_{n,\delta}$ 上的积分:

$$T_f(b) = \int_b f(x(l)) dl, b \in B_{n,\delta} \quad (1)$$

如图 3 所示, $x(l)$ 为沿 b 方向的 x_1, x_2 的函数; $f(x(l))$ 为 b 上的图像函数; 称线积分 $T_f(b)$ 为对应 b 的 Beamlet 变换系数。

1.2.2 离散 Beamlet 变换

一个 $n \times n$ 维图像的离散 Beamlet 变换可以定义为由 f_{i_1, i_2} 插值而成的连续函数 f 的 Beamlet 变换:

$$f(x_1, x_2) = \sum_{i_1, i_2} f_{i_1, i_2} \phi_{i_1, i_2}(x_1, x_2) \quad (2)$$

式中 $\phi_{i_1, i_2}(x_1, x_2)$ 是一个连续插值函数。 $\phi_{i_1, i_2}(x_1, x_2)$ 的选择有多种方法, 在这里使用平均插值函数。

令 $Pixel(i_1, i_2)$ 表示方块 $[i_1/n, (i_1+1)/n] \times [i_2/n, (i_2+1)/n]$, 选择函数 ϕ_{i_1, i_2} 满足:

$$n^2 \int_{Pixel(i_1, i_2)} \phi_{i_1, i_2}(x_1, x_2) dx_1 dx_2 = \delta_{i_1, i_1'} \delta_{i_2, i_2'} \quad (3)$$

式中 $\delta_{i, i'}$ 是 Kroneker(克罗内克)符号。

于是函数 f 满足:

$$f_{i_1, i_2} = Ave\{f | Pixel(i_1, i_2)\} \quad (4)$$

式中 f_{i_1, i_2} 是函数 f 在像素点上的均值。

$x(l)$ 为沿 b 方向的 x_1, x_2 的函数, 在此意义下 $f(x(l))$ 沿 b 就会变成分段常数, $T_f(b)$ 的线积分就简化为分段求和。图 3 亦表示了上述定义。

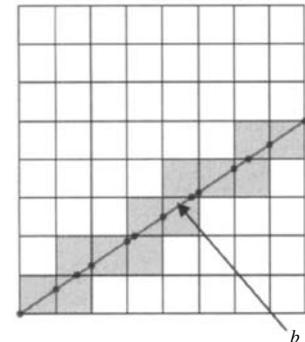


Fig.3 Sketch map of Beamlet transform
图 3 Beamlet 变换示意图

2 裂缝提取算法

大津阈值^[5]分割算法, 利用最小二乘法求极值的原理, 通过求类间最大方差来找出最佳分割门限^[6]。具体的方法为: 首先将图像分成 2 个区域 A 和 B , A 区域的灰度范围为 $0 \sim k$, B 区域的灰度值取值范围为 $(k+1) \sim L$ (L 为该图像的最大灰度值), 并求出各区域的平均灰度 m_A, m_B 和全图的平均灰度 m , 以及各区域出现的概率 P_A, P_B , 最后求出类间方差(即目标函数) σ^2 :

$$\sigma^2 = P_A(m_A - m)^2 + P_B(m_B - m)^2 \quad (5)$$

采用遍历的方法得到使类间方差 σ^2 最大的 k , 即为最佳的灰度分割门限。

具体算法描述如下:

1) 将 CCD 采集到的彩色岩心图像经灰度化处理, 运用最大类间方差法将其转化为二值图像。

2) 对所得的二值图像运用 1.2.2 中介绍的方法进行离散 Beamlet 变换, 计算出所有二进方块内的 Beamlet 变换系数。此处考虑到噪声及复杂背景的影响, 并不把岩心图像分解到最细(即像素级)的尺度。如图 1 中所示, 此算法的核心就是要用不同方向的小线表示裂缝, 消除经小线变换而小于阈值的噪声, 从而提取裂缝。分解的尺度越细, 小线的长度越小, 提取的噪声及干扰细节越多; 而尺度越粗, 小线本身分解的长度越大, 较小的裂缝经变换后因小于阈值而被忽略, 细节部分丢失的越多。可以根据裂缝的特征和分析的不同程度要求, 选择合适的分解尺度。

3) 为提取有用的裂缝信息, 并节约运算量, 做基于最大 Beamlet 的检验, 即针对每个不同的二进方块, 只取其最大值。确定如下能量函数:

$$Y = \max \{ T_f(b) / \sqrt{L(b)} \}, b \in B_{n,1/n} \quad (6)$$

式中: $T_f(b)$ 是 Beamlet 变换系数; $L(b)$ 是相应的 Beamlet 长度; $B_{n,1/n}$ 为不同尺度下每个二进方块中的 Beamlet 的集合。对 Y 进行幅度归一化并设定一个阈值 T , 根据视觉效果, T 值一般取 0.5 左右, 可再调整。

4) 将 3) 中得到的 Beamlet 一次可视化。当 Y 大于阈值 T 时, 就表明源图像中的相应位置存在所需要的线性特征, 则划线显示这一 Beamlet。

3 实验结果

为了验证算法的有效性, 笔者采用了粗细不同的两种裂缝岩心图像进行检验, 并分别对不同的裂缝采取了不同的分解尺度和阈值。

图 4 为较粗裂缝提取图像(256×256), 选择 $j=4$, 阈值 $T=0.5$ 进行裂缝提取。图 4(a) 为灰度化后的 CCD 采集图像(部分截取图); 图 4(b) 是采用最大类间方差法进行二值化后的图像(灰度阈值 $K=65$); 图 4(c) 是 Beamlet 变换提取后的图像。从图中可以清楚地看到二值化后的图像还受到复杂背景和噪声的影响, 经本文方法处理后的图像已基本消除这些干扰, 裂缝图像清晰可见。

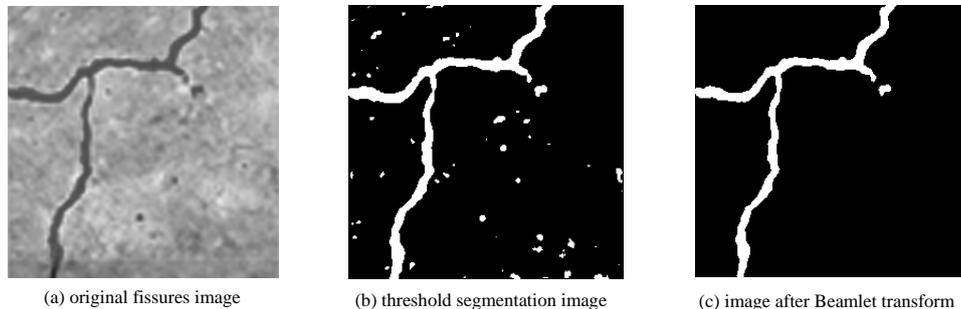


Fig.4 Core image extraction results with thicker fissures

图 4 具有较粗裂缝的岩心图像提取结果

图 5 为截取的较细裂缝提取图像(256×256), 选择灰度阈值 $K=125$, $j=6$, 阈值 $T=0.55$ 进行裂缝提取。可以看出针对较细的裂缝, 效果也较好。

本文算法的分辨率 δ 取为单位像素, 通过定标图像的单位像素对应的空间距离可以计算裂缝的长度、宽度以及面积, 并可通过总缝面积和图像统计面积的比值得到面缝率^[7], 表 1 和表 2 分别统计了图 4、图 5 中裂缝的相

关数据(统计时可根据分析需要设定裂缝长度阈值,忽略掉较小裂缝和孔洞的影响)。这些统计结果可基本满足实际工程中裂缝的分析需求。

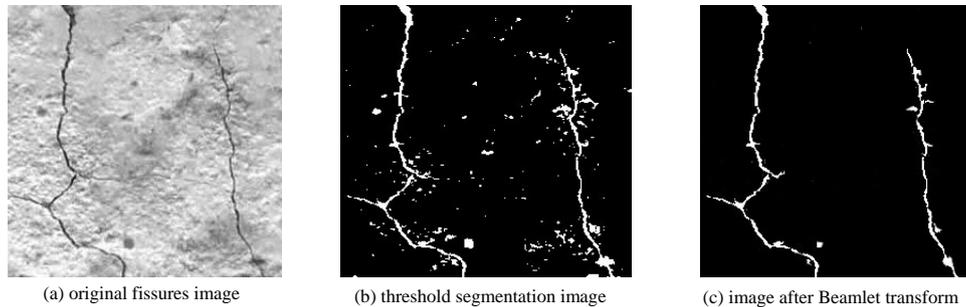


Fig.5 Core image extraction results with smaller fissures
图5 具有较细裂缝的岩心图像提取结果

4 结论

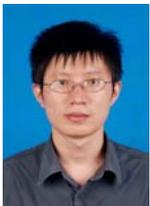
1) 本文在二值图像的基础上,提出了一种新的基于多尺度 Beamlet 变换的岩心裂缝提取算法。相较于传统的图像阈值分割方法,本算法能更好地消除复杂背景和强噪声的影响,提取出的裂缝清晰,连续不断裂,直线稳定性较高,展示了较好的应用前景。

2) 本算法在检验阈值的自动选取和变换速度上还有待进一步研究改进。

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.
- [2] Donoho D L. Beamlet Prisms: a New form of Multiresolution Analysis,Suited for Extracting Lines,Curves,and Objects from Very Noisy Image Data[C]// Proceedings of SPIE. 2000,4119:434-444.
- [3] Donoho D L,Huo X M. Beamlets and Multiscale Image Analysis[R/OL]. Stanford University, 2001[2009-09-08]. <http://www-stat.stanford.edu/~donoho/Reports/2001/BeamletMSIP051101.pdf>.
- [4] 屈庆春,彭玉华,杨明强. 基于 Beamlet 变换的线性特征检测[J]. 中国图象图形学报, 2007,12(3):500-504.
- [5] Ostu N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Trans., 1979,SMC-9:62-66.
- [6] 张玲,郭磊民,何伟,等. 一种基于最大类间方差和区域生长的图像分割法[J]. 信息与电子工程, 2005,3(2):91-93.
- [7] 黄军芬,黄继强,黄民双,等. 基于 Beamlet 变换的结构光焊缝图像线性特征提取[J]. 焊接学报, 2009,30(5):90-92.

作者简介:



高超(1984-),男,河南省焦作市人,在读硕士研究生,主要研究领域为模式识别和图像处理.email:gaochaooo54@163.com.

王正勇(1969-),女,四川省达州市人,在读博士研究生,副教授,主要研究方向为实时信号处理、图像处理和通信电路。

表1 图4中裂缝的统计数据

Table1 Statistics of fissures in Fig.4

length/mm	width/mm	total area of the fissures/mm ²	fissure rate of area/(%)
212.93	2.26	481.38	5.9

表2 图5中裂缝的统计数据

Table2 Statistics of fissures in Fig.5

length/mm	width/mm	total area of the fissures/mm ²	fissure rate of area/(%)
8.20	0.10	1.2	4.1
4.69	0.10		