

文章编号: 1001-6112(2008)04-0420-04

基于傅立叶变换的 岩屑纹理特征提取及岩性识别方法研究

王东强¹, 李文东¹, 刘宗林², 慈兴华², 杨晓明¹, 郑荣儿¹

(1. 中国海洋大学, 山东 青岛 266100; 2. 胜利油田地质录井公司, 山东 东营 257064)

摘要: 针对在 PDC 钻头条件下石油录井过程中的岩屑岩性难以用肉眼识别, 以及人工分类速度较慢的问题, 该文利用傅立叶周向谱能量法原理, 将岩屑图像在频域中按照频率由低到高对周向谱能量进行分级, 将各级能量占总能量的比率作为该图像的特征量, 然后应用 Bayes 分类器对其进行分类处理, 将所得结果与人工分类结果做比较, 并验证了方法的可靠性。实验证明, 这种方法能更好的分析岩屑的岩性, 对泥岩的分类准确率高达 99.44%。

关键词: PDC 钻头; 岩屑录井; 傅立叶变换; 图像纹理; Bayes 分类器; 岩屑岩性识别

中图分类号: TE135.1

文献标识码: A

A METHOD FOR EXTRACTING CHARACTERISTICS OF IMAGE TEXTURE AND IDENTIFYING OF CUTTINGS BY FOURIER TRANSFORM

Wang Dongqiang¹, Li Wendong¹, Liu Zonglin², Ci Xinghua², Yang Xiaoming¹, Zheng Ronger¹

(1. Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100, China;

2. Shengli Geological Drilling Company, Dongying, Shandong 257064, China)

Abstract: In the process of logging, it's quite slow for human eyes to identify the cuttings made by the PDC bit. In order to extracting characteristics of cuttings' image texture effectively, using the algorithm of circular Fourier spectral energy, the image's spectral energy in different frequency ranges is classified. Hence the distribution ratio of the spectral energy is calculated and taken as the characteristic. With the basis of the results of artificial identifying, the characteristics of the standard samples are taken as the training characteristics to test the ones of the random samples using Bayes classifier in the identifying process. The reliability of the method is also tested. It proved that the method was relatively good to analyze the character of cuttings with an identifying accuracy 99.44% for mudstone.

Key words: PDC bit; cutting logging; Fourier transform; image texture; Bayes classifier; identify of cuttings character

1 研究现状

近年来在石油录井中逐渐使用 PDC 钻头。由于其特殊的破岩机理, 钻进过程中造成岩屑细小、量少、甚至完全失真, 对地质录井的采样、分析、鉴定、识别以及油气评价等工作带来了极大的困难。人的肉眼很难分辨 PDC 钻头下的岩屑。为了解决这个问题, 国内已有利用色度学原理和计算机图解

采集处理技术对岩屑进行分析^[1]及测量岩屑的自然伽马放射性^[2], 利用扫描电镜和阴极发光的手段研究岩屑的特征^[3], 以及利用 OFA 定量荧光录井仪^[4]和色谱录井法^[5]。但对岩屑的图像纹理特征直接进行数字处理并进行分类的还相当少见。

图像的纹理呈现出的周期性, 是指它在图像空间中具有一定的发生频率。因此可以对图像进行频谱分析来提取纹理特征。傅立叶变换是把图像

收稿日期: 2007-05-31; 修订日期: 2008-06-23。

作者简介: 王东强(1982—), 男, 研究生, 光学工程专业。E-mail: eaststrong@163.com。

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2002AA615170)。

从空间域变换到频域的常用方法;傅立叶能量谱数值的大小反映不同频率成分的强度。

国内外的学者对傅立叶变换提取图像纹理特征的研究较多^[6~8]。Zhou 等^[6]在频域中利用对傅立叶变换系数进行直方图统计和分析来提取纹理特征作为图像检索依据;Castalman^[7]对图像内部最大矩形区域进行傅立叶变换提取特征,这种方法只反映了图像的局部纹理;朱小燕等^[8]对汉字文字中的单字和粘连的多个字的图像进行傅立叶变换,研究了各自的傅立叶周向谱分布关系,建立了基于傅立叶变换的图像判断标准。本文则利用傅立叶周向谱能量法原理,将岩屑图像在频域中按照不同的频率范围对周向谱的能量进行分级,将各级能量占总能量的比率作为该图像的特征量,从而有效的提取出了泥岩与砂岩的特征量,然后应用 Bayes 分类器进行分类处理,与传统的人工分类结果进行比较,得到了有较高准确率的岩屑岩性分类结果。

2 傅立叶周向谱法与 Bayes 概率方法

2.1 图像的傅立叶变换

傅立叶变换的作用是把空间域信号变换到频域,图像的数据是二维离散数据,则它们的傅立叶变换也是离散的:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp[-j \times 2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})]$$

$$u=0, 1, 2, \dots, M-1; v=0, 1, 2, \dots, N-1$$

其中 $f(x, y)$ 是数字图像, x, y 是空间域中图像的横、纵坐标轴; $F(u, v)$ 是频域图像谱。通常 $F(u, v)$ 是 2 个实频率变量 u 和 v 的复值函数,频率 u 对应于频域中的 x 轴,频率 v 对应于频域中的 y 轴,变换后数据为复数,则傅立叶变换的相位谱 $\varphi(u, v)$ 、能量谱 $E(u, v)$ 分别为:

$$\varphi(u, v) = \arctan[I(u, v)/R(u, v)]$$

$$E(u, v) = R^2(u, v) + I^2(u, v)$$

其中 $R(u, v)$, $I(u, v)$ 分别表示 $F(u, v)$ 的实部和虚部。傅立叶变换具有共轭对称性,即

$$|F(u, v)| = |F(-u, -v)|$$

也就是频谱分布是以频域中的图像原点为中心对称的。

一幅没有丝毫纹理的光滑平坦图像,其功率谱只有空间频率为 0 的分量;当图像的纹理比较粗时,也就是灰度的变化周期比较大,则在低频段会

有较大能量;当纹理比较细,或者比较复杂时,在高频段会有较大能量^[9]。

2.2 周向谱能量分级比率法

傅立叶变换提取图像纹理特征的常用方法是周向谱能量法,它的计算公式是

$$E(u, v) = |F(u, v)|^2$$

其值表示空间频率强度,把 $E(u, v)$ 用极坐标表示,令 $r = \sqrt{u^2 + v^2}$, $\theta = \arctan(v/u)$, 则周向谱能量为

$$E(r) = \sum_{\theta=0}^{2\pi} E(r, \theta)$$

在频域内以变换后的图像中心为圆心,利用一系列同心圆环,它们的间隔相等,即 Δr 为常数,按照 r 从低到高,即频率从低到高对能量进行分级。考虑到本次实验截取的小图像大小为 128×128 , 本方法初步定为 10 级(不同的圆环区域代表不同的频率范围,圆环由内而外代表频率逐渐增大。第一级的图像区域为中心的小圆圈,最后一级的图像区域为整个图像减去前 9 级之和的剩余部分,见图 1), 计算每一级的能量占总能量 E_{sum} 的比率 $g(r_i)$,

$$g(r_i) = \frac{\int_{r_i}^{r_i+\Delta r} E(r) dr}{E_{\text{sum}}}, i = 0, \dots, 8, \text{ 其中 } r_0 = 0,$$

$$g(r_9) = 1 - \sum_{i=0}^8 g(r_i)$$

得到 10 个 $g(r_i)$ 的值,将其作为每一幅岩屑图像的 10 个特征值。

2.3 Bayes 概率分类方法

贝叶斯分类模型是一种典型的基于统计方法的分类模型。贝叶斯定理是贝叶斯理论中最重要的一个公式,是贝叶斯学习方法的理论基础,它将事件的先验概率与后验概率巧妙地联系起来,利用

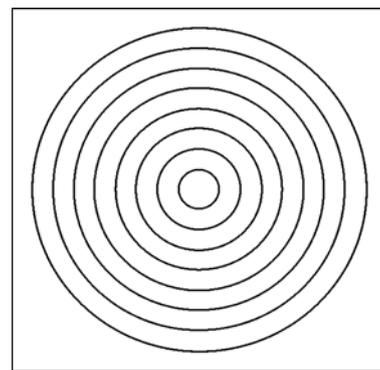


图 1 频域内能量分级图(10 级)

Fig. 1 The diagram of classified energy in the frequency field (10 classes)

先验信息和样本数据信息确定事件的后验概率。

令 $U = \{A_1, A_2, \dots, A_n, C\}$ 是离散随机变量的有限集, 其中 A_1, A_2, \dots, A_n 是属性变量, 类变量 C 的取值范围为 $\{c_1, c_2, \dots, c_l\}$, a_i 是属性 A_i 的取值。实例 $x_i = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ (x 表示矢量) 属于类 c_j 的概率, 可由贝叶斯定理表示为:

$$P(c_j | a_1, a_2, \dots, a_n) = \frac{P(a_1, a_2, \dots, a_n | c_j) P(c_j)}{P(a_1, a_2, \dots, a_n)}$$

$$= a \cdot P(c_j) \cdot P(a_1, a_2, \dots, a_n | c_j)$$

根据贝叶斯最大后验准则, 给定某一实例 $x_i = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, 贝叶斯分类器选择使后验概率 $P(c_j | a_1, a_2, \dots, a_n)$ 最大的类 C 作为该实例的类标签^[10]。

3 实验

图像采集系统使用 Canon EOS 20D 照相机, 配以 Canon Macro MP-E 65 mm f/2.8 1-5X 微距镜头。实验拍摄过程中镜头到岩屑的距离为 8 cm, 景深为 4 mm, 放大倍数为 1.66 倍, 这样就能保证每 0.5 mm 长度的像素数为 128。照明光源采用环型节能灯, 其色温为 6 700 K。这是因为环型节能灯比自然光稳定, 与白炽灯比较无频闪, 并且可以避免出现过阴影。

实验样品由胜利油田钻井地质资料公司提供。其中标准样品选用该公司制作的《岩谱色谱集》中的 12 号灰绿色泥岩、17 号灰质泥岩、18 号白云质

泥岩、19 号含膏泥岩、20 号石膏质泥岩、21 号铝土质泥岩共 6 种作为统一的泥岩样品, 和 25 号粉砂岩、26 号灰质粉砂岩、29 号粉细砂岩、31 号中砂岩、35 号石英砂岩共 5 种作为统一的砂岩样品; 现场样品由胜利油田丰深 2 号钻井提供其 4 600 m 以下钻出的岩屑样品。此现场样品已经依据传统人工分类方法对其分类为泥岩和砂岩, 作为与计算机分类结果的比较。

对拍摄的样品照片截取数幅正方形的小图像, 每幅图像的大小为 128×128 。对于泥岩, 标准样品截取 117 幅, 现场样品截取 180 幅; 对于砂岩, 标准样品截取 105 幅, 现场样品截取 279 幅。

编写 Matlab 程序对所有截取的小图像进行处理。首先将彩色图像变为灰度图像, 然后对其进行傅立叶变换, 根据傅立叶周向谱能量分级比率法原理, 得到每幅图像的 10 个特征值, 从而得到所有小图像 10 个特征值的统计箱形图(图 2)。其中 X_{ni} , X_{sha} 代表现场样品中的泥岩和砂岩, S_{ni} , S_{sha} 代表标准样品中的泥岩和砂岩; 箱形图左侧坐标为相应特征量值; “+”号样本特征值代表异常值; 中间箱子的上边、下边、中线分别代表样本特征值分布的 1/4 分位线、3/4 分位线和中位线; 箱子的上下延伸线的顶端和低端分别为样本的最大特征值和最小特征值。

利用已经得到的所有小图像的 10 个特征值, 使用 Bayes 分类器对截取的所有小图像进行了分类。

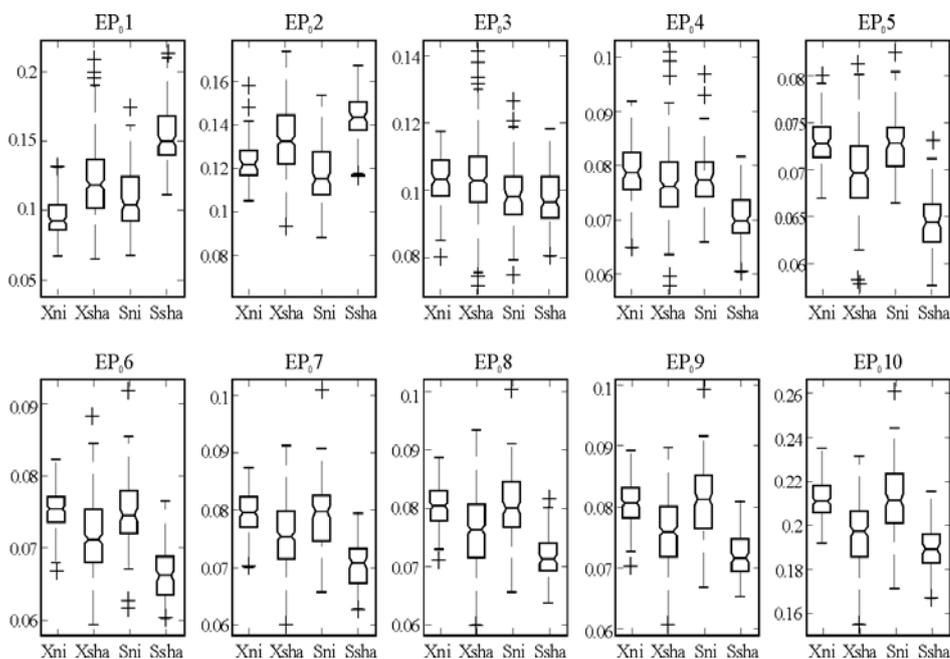


图 2 现场样品和标准样品的箱形图

Fig. 2 The box diagram of the on-site samples and the standard ones

4 实验结果

4.1 数据处理

分类的目的,是以标准样品的全部截取图像作为训练样本测试现场样品的全部截取图像。其中泥岩的判别准确率高达 99.44%,而砂岩的准确率较低,为 40.94%。

为了验证程序的可靠性,又进行了以下 2 个过程,在标准样品中,使用 2/3 数量的截取图像作为训练样本测试其余的 1/3 数量的截取图像;和在现场样品中,使用 2/3 数量的截取图像作为训练样本测试其余的 1/3 数量的截取图像。在这两个过程中,标准样品和现场样品分别进行训练和测试,其结果见表 1。

4.2 结果分析

由表 1 可知,现场样品的准确率起伏较大,而与泥岩样品相比,砂岩样品的准确率起伏较大。

通过进一步分析判断失误的现场砂岩样品小图像,可知其曝光量不足,导致发暗,掩盖了重要的纹理,还有,照相机的景深不足,导致图像模糊,掩盖了部分纹理。

表 1 标准和现场样品测试结果

Table 1 The testing results of the standard samples and the on-site ones

样品	训练样本编号	训练样本数/个	测试样本编号	测试样本数/个	准确率, %
标准泥岩	1-78	78	79-117	39	72.50
	40-117	78	1-39	39	100.00
	1-39, 79-117	78	40-78	39	82.05
标准砂岩	1-70	70	71-105	35	100.00
	36-105	70	1-35	35	91.43
	1-35, 71-105	70	36-70	35	80.00
现场泥岩	1-120	120	121-180	60	71.67
	61-180	120	1-60	60	98.33
	1-60, 121-180	120	61-120	60	65.00
现场砂岩	1-186	186	187-279	93	93.48
	94-279	186	1-93	93	44.09
	1-93, 187-279	186	94-186	93	61.29

5 结论

1)根据傅立叶周向谱能量分级比率法原理,编写了 Matlab 程序,在不同的频率范围内对能量进行分级,有效的提取出了泥岩与砂岩的特征量,并得到了部分理想的实验结果。

2)以标准样品作为训练样本测试现场样品,其中泥岩的判别准确率高达 99.44%,而砂岩的准确率较低,为 40.94%。在测试方法的可靠性中,以标准样品的截取图像的 2/3 数量作为训练样本测试其余的 1/3 数量图像的测试过程准确率较高,而采取同样的过程测试现场样品中,某些准确率相对较低。

3)在现场样品的拍摄过程中,曝光量和景深是评价原始图像的重要参数,因此为所有的样品选择一个合适的曝光量和景深,是后续实验中的一个重要方面。另外,对岩屑特征量的分类选用更加先进的分类器亦是提高测试准确率的重要手段。

参考文献:

- 1 鲍云杰,高玉凯,石景艳等. 岩屑定量描述评价仪的研制[J]. 测井技术,1999,23(1):68~71
- 2 张社民. 细碎岩屑地质录井方法研究[J]. 河南石油,2004,18(1):14~16
- 3 刘锐娥,孙粉锦,卫孝锋等. 鄂尔多斯盆地中东部山 2 段储集层岩性微观特征差异性的地质意义[J]. 石油勘探与开发,2005,32(5):56~58
- 4 刘 晓,方锡贤,牛书立. PDC 钻头钻进条件下录井方法探讨[J]. 断块油气田,2002,9(4):26~29
- 5 钱书红,章卸贤. PDC 钻头钻井时对录井的影响及处理方法探讨[J]. 海洋石油,2003,23(2):78~82
- 6 Zhou F F, Shi J Q. Texture feature based on local Fourier transform [J]. IEEE International Conference on Image Processing, 2001, 17(2):610~613
- 7 Castalman K R. Digital image processing[M]. Englewoo:Prentice Hall,1998
- 8 朱小燕,王 松. 傅里叶变换在粘连文字图像切分中的应用[J]. 计算机学报,1999,22(12):1246~1252
- 9 徐贵力,毛罕平. 利用傅里叶变换提取图像纹理特征新方法[J]. 光电工程,2004,11(31):55~58
- 10 张丽霞,赵天宇. 一种扩展的朴素贝叶斯分类器改进算法[J]. 计算机技术与发展,2006,16.(5):28~30

(编辑 徐文明)