

小波双线性插值算法在测井曲线相似中的应用

尚福华¹, 柴艳领¹, 杜睿山¹, 吉喆明²

(1. 东北石油大学 计算机与信息技术学院, 黑龙江 大庆 163318;

2. 中国石化胜利油田分公司 河口采油厂采油四矿, 山东 东营 257200)

摘要:测井曲线是一种在不同测井方法、不同地质环境、不同地层条件下测得的包含地球物理化学等信息的数据的表现形式。针对测井曲线信号中存在的噪声以及其形态特征的性质, 结合分析了双线性插值算法及测井曲线小波变换原理, 提出一种改进的小波双线性插值算法在测井曲线相似性判断中的应用。改进的小波双线性插值法在有效滤除测井信号中的噪声的同时, 又可以保留曲线的细节信息, 对进行测井曲线相似性对比中提供了良好的预处理基础。利用斜率距离度量方法判别分析对经改进的小波双线性插值后得到的测井曲线的详细的特征信息进行判断, 进行测井曲线相似性识别。实验结果表明, 该方法在进行测井曲线相似性对比中得到了很好的应用。

关键词:双线性插值; 小波变换; 测井曲线; 相似性对比

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2015)09-0066-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2015.09.014

Application of Wavelet Bilinear Interpolation Algorithm in Well-logging Curve Similarity

SHANG Fu-hua¹, CHAI Yan-ling¹, DU Rui-shan¹, JI Zhe-ming²

(1. College of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University,

Daqing 163318, China;

2. Fourth Mineral of Hekou Oil Production Plant, Shengli Oilfield Branch of China Petroleum and Chemical,

Dongying 257200, China)

Abstract: Well logging curve is a means of data expression to be measured in different logging methods, different geological environment, different geological conditions including geophysical and geochemical information. According to the nature of the morphological features and the existence of the noise of logging curve, combined with the analysis of the bilinear interpolation algorithm and the wavelet transform principle of logging curve, propose a kind of improved wavelet bilinear interpolation algorithm to apply the similarity of judgment in well logging curves. The improved wavelet bilinear interpolation can filter noise effectively in logging signal, at the same time can keep the detail information of the curve, which provide a good basis for the pre treatment for the logging curve similarity comparison. The measure methods of discriminant analysis information with features of logging curve by the improved wavelet bilinear interpolation is obtained after the judge by slope distance for similarity identification of logging curve. And in the further logging curve similarity comparison has a very good application.

Key words: bilinear interpolation; wavelet transform; well-logging curve; similarity comparison

0 引言

测井曲线是一种在不同测井方法、不同地质环境、不同地层条件下测得的包含地球物理化学等信息的数据的表现形式。这一表示被测物理量变化的离散的数据按照深度进行采样, 用拟合成连续的曲线进行显示。但噪声在原始测井数据中普遍存在, 而测井曲线是油

气储集层特性研究和生产能力评价的主要信息依据, 测井曲线的形态特征是地质专家和测井分析师对地质对比、层序地层学研究的主要判断依据。因此在对测井曲线分析使用前, 对其进行滤波处理以及毛刺去除等操作是非常必要的。

利用插值算法对曲线进行处理, 容易出现块状和

收稿日期: 2014-10-20

修回日期: 2015-01-22

网络出版时间: 2015-07-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61170132); 国家重大专项(2011ZX05020-007); 黑龙江省教育科学技术研究资助项目(12521055)

作者简介: 尚福华(1962-), 男, 教授, 博士后, 研究方向为人工智能、机器学习、数据挖掘、图像处理等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150721.1454.105.html>

锯齿等现象。为了弥补这一现象,利用小波变换的多尺度分析特征,及其被分解后每个层子带间存在的相似性,提出了一种小波变换和双线性插值在测井曲线相似性对比新方法。针对插值与小波变换结合出现的不足,应用双线性插值算法^[1]的低频成分进行补偿,根据一定的配比要求,将经过双线性插值的结果与经过小波和插值结合后得到的结果进行混合配比。根据实验显示,这种方法简洁、方便,对测井曲线的质量有较好的改善,并在后期应用于测井曲线相似性处理中有着非常好的效果^[2]。

在测井曲线的处理以及分析过程中,相似性判断应用范围很广泛,比如在射孔深度相对校正,砂岩对比层对比以及测井资料验收的曲线判别等方面^[3]。射孔深度校正即测井公司以自然伽马(GR)曲线作为深度控制曲线,在基准 GR 曲线中选取标志层,寻找对比 GR 曲线中相似层位进行深度对齐^[4]。由于测井原始数据对基准 GR 数据与对比 GR 数据提取的采样间距及其采集环境等的不同,因此文中针对寻找相似曲线对比段为前提,提出基于改进的小波双线性插值算法的测井曲线相似性度量方法。并结合测井曲线的特征,以 GR 曲线在相应储层位置的形变为依据划分局部对比曲线段,以同一口井的一条 GR 为基准,在对比曲线上对得到的局部曲线段使用改进的小波双线性插值算法对基准 GR 曲线以及对比 GR 曲线进行处理,然后运用斜率距离度量方法判别分析对经改进的小波双线性插值后得到的测井曲线的详细的特征信息进行相似性判断^[5]。通过大庆油田实际测井数据实验表明,得到了比较理想的效果。

1 双线性插值算法原理

在离散数据上补插连续函数,使所有的离散数据点都在这条连续曲线上,这是双线性插值法的理论基础。

其定义如下:设闭区间 $[a, b]$ 上的实值函数,在此闭区间上 $n + 1$ 个不相同点 x_0, x_1, \dots, x_n 处的值是 $f(x_0), f(x_1), \dots, f(x_n)$, 估算出 $f(x)$ 在 $[a, b]$ 上某个点的数值。

方法如下:在已选定的一个有 $n + 1$ 个参数 c_0, c_1, \dots, c_n 的函数类 $\Phi(c_0, c_1, \dots, c_n)$ 中求出满足条件的 $p(x)$, 其中:

$$p(x_i) = f(x_i) \quad (i = 0, 1, \dots, n) \quad (1)$$

将 $p(x)$ 看作 $f(x)$ 的估计值。则被插值函数为 $f(x)$, 插值节点分别为 c_0, c_1, \dots, c_n , 插值函数类为 $\Phi(c_0, c_1, \dots, c_n)$ 。以上式子为插值条件, $\Phi(c_0, c_1, \dots, c_n)$ 中满足上式的函数称为插值函数。

$$R(x) = f(x) - p(x) \quad (2)$$

式(2)为插值的余项,其中内插值是当估算点在包含 x_0, x_1, \dots, x_n 的最小闭区间内时;若在这一区间外,则称为外插。

2 小波变换原理

小波变换本质上是小波基函数的投影关系。其定义如下:

基本小波函数 $\Phi(t) \in L^2(R)$, 若其满足 $\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(t) dt = 0$ 这一条件。基本小波经过平移与伸缩

生成的函数簇 $\Phi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Phi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 被称为连续小波。其中, a 为尺度参数, $a \in R$, 且 $a \neq 0$; b 为平移参数, $b \in R$ 。 $f(x) \in L^2(R)$ 函数的小波变换为:

$$W_f(a, b) = \langle f, \Phi_{a,b} \rangle = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \Phi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx \quad (3)$$

在数学上为了方便,其小波变换也可以为^[6]:

$$W_s f(x) = f(x) \times \Phi_s(x) = \frac{1}{s} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Phi\left(\frac{x-t}{s}\right) dt \quad (4)$$

其中, $\Phi_s(x) = \frac{1}{s} \Phi\left(\frac{x}{s}\right)$, s 为尺度参数。

如果函数 $\Phi(t)$ 的傅里叶变换 $\Phi(w)$ 满足容许性条件 $C_\Phi = \int_{-\infty}^{\infty} |\Phi_\omega|^{-2} |w|^{-1} dw < \infty$, 则小波变换可逆,式(4)重构形式为:

$$f(x) = \frac{1}{C_\Phi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_s f(t) \Phi_s(x-t) \frac{1}{s} ds dt \quad (5)$$

在实际应用中,小波变换的尺度参数无需连续取值,而是依据某种方法对连续小波及其变换进行离散化处理。一般将尺度参数 s 做二进制离散,方法如下:取 $s = 2^j, j \in Z$, $f(x)$ 在尺度 2^j 下的小波变换为:

$$W_{2^j} f(x) = f(x) * \Phi_{2^j}(x) = \frac{1}{2^j} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Phi\left(\frac{x-t}{2^j}\right) dt \quad (6)$$

式(6)对第 j 个倍频程的局部谱信息进行给定。相应的重构形式为:

$$f(x) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_{2^j} f(t) \{2^j X[2^j(x-t)]\} dt \quad (7)$$

其中, $X(t)$ 为重构小波。

按照 Mallat 塔式算法对 $f(x)$ 进行小波分解以及重构。式(6)和式(7)为其对应公式,得到分解算法:

$$S_{2^j} f(x) = f \times \varphi_{2^j}(x) = \sum_{l \in Z} h_l S_{2^{j-1}} f(x - 2^j l) \quad (8)$$

$$W_{2^j} f(x) = f \times \varphi_{2^j}(x) = \sum_{l \in Z} h_l S_{2^{j-1}} f(x - 2^j l)$$

式(9)为其重构算法。

$$S_{2^j}f(x) = \sum_{l \in Z} h_{l-1} S_{2l}f(x - 2^{j-1}l) + \sum_{l \in Z} k_l W_{2l}f(x - 2^{j-1}l) \tag{9}$$

其中,小波函数、尺度函数及重构小波函数的滤波器系数分别是 $\{g_l\}$ 、 $\{h_l\}$ 及 $\{k_l\}$ 。

测井数据是一组离散的数据信号,长度是有限的,因此它的能量也是有限的,用 $\{d_i\}_{i \in Z} \in l^2$ 表示。若取样密度为 1,存在一个函数 $f(x) \in L^2$,使得

$$d_i = f(x) \times \varphi(i) = S_0f(i) \tag{10}$$

结合式(8)和式(9)就可以对测井曲线进行二进小波的分解与重构。

3 小波双线性插值改进算法的研究

为了弥补插值算法对测井曲线处理中容易导致插值图像与原图像有差距的不足,将其与插值算法相结合,应用小波变换的多尺度分析特征,有效地从信号中提取信息。

设 L 为原始测井曲线数据, T 为高频外推的阈值^[7]。令 $T_0 = 0$ 为 T 的初始值, dt (取 $dt = 1$) 为阈值增加的步长值, $PSNR = 0$ 为峰值信噪比 $PSNR$ 的初始值, $PSNR_{MAX}$ 为最大峰值信噪比的变量,初始值设置为 0, I 为需要重新建立的目标高分辨率图像, $PSNR_2$ 和 $PSNR_1$ 分别表示当前重建图像的两曲线的峰值信噪比, $PSNR_2 = PSNR_1 = 0$, 则用小波双线性插值对测井曲线处理过程的步骤如下:

- (1)将原测井曲线 L 进行小波分解,即 $[IL_1, IH_1, IV_1, ID_1] = dwt2(IL)$ 。
- (2)分别对 IH_1, IV_1, ID_1 进行双线性插值外推得到相应的高频成分为 IH_0, IV_0, ID_0 。以阈值 $T = T_0 + dt$ 对 IH_0, IV_0, ID_0 进行限制,得到 IH, IV, ID 。
- (3)用小波逆变换重建高分辨率图像,即 $I = idwt2(IL, IH, IV, ID)$ 。
- (4)计算峰值信噪比 $PSNR$ 。
- (5)比较 $PSNR$ 和 $PSNR_0$ 之间的大小。

如果 $PSNR > PSNR_0$, 则令 $T = T_0, I_0 = I, PSNR_{MAX} = PSNR, PSNR_2 = PSNR_1, PSNR_1 = PSNR_0, PSNR_0 = PSNR$, 返回(3)重新计算第(3)~(5), 然后再进行比较。

如果 $PSNR \leq PSNR_0$, 则 $PSNR_2 = PSNR_1, PSNR_1 = PSNR_0, PSNR_0 = PSNR$, 然后判断 $PSNR_2, PSNR_1, PSNR_0$ 三个值是否一样, 若不一样则返回第(3)步重新计算(3)~(5), 之后再一次进行比较, 若一样则终止搜索。

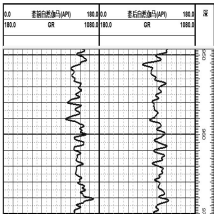
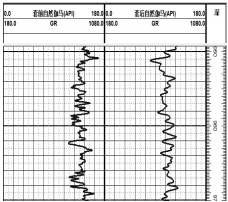
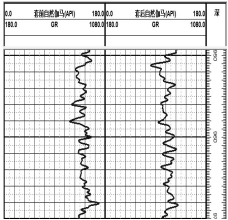
通过计算峰值信噪比的全局最大值, 得到 I_0 为最大峰值信噪比对应的高分辨率图像, $T = T_0$ 为最佳阈值, $PSNR_{MAX}$ 为最大信噪比。

4 小波双线性插值改进算法在测井曲线相似性判断中的应用

为了说明小波双线性插值算法对曲线相似性^[8]判断的改善能力, 并进行客观评价, 采用实际测井曲线数据进行曲线相似性对比实验, 其中实际数据为大庆采油一厂的多口井数据。按照小波双线性插值改进算法, 在基准 GR 曲线以及对比 GR 曲线上分别获得曲线段, 然后分别对基准曲线段进行双线性插值, 以及基准曲线和对比曲线进行小波变换预处理, 利用斜率距离度量方法, 搜索最为相似的曲线段。

在相似性对比过程中, 本实验将文中提出的小波双线性插值改进算法与双线性插值、全小波插值三种方法作了比较。为了给以上三种方法识别结果提供视觉判断参照^[9-10], 同时也加入了人工识别参与相似性判断。用 15 口井的 100 个基准井段进行相似性判断。得到的结果表明, 文中提出的方案的准确率高于其他两种方法^[11]。将判断曲线图像的评价指标加入图像熵值, 使其作为另一个判断标准。以下为实验步骤:

表 1 图像插值实验结果

插值方法	插值结果图	PSNR/dB	熵值/bits
双线性插值		20.412 5	13.624
全小波插值		24.147	13.6784
小波双线性插值		27.457	13.845

实验中原始曲线为一口井的测井曲线的局部井段。为了比较小波双线性插值算法在测井曲线相似性判断中的效果, 对三种算法的处理结果进行了对比, 其中三种算法分别为双线性插值、全小波插值和改进的小波双线性插值。如表 1 所示, 峰值信噪比以熵值为每种算法的处理结果所对应的。双线性插值、全小波插值的峰值信噪比要比小波双线性插值算法得到的结果要低, 并且小波双线性插值改进算法得到的图像的

熵值相比较其他两种算法也要高。所以在提高峰值信噪比、提高图像的熵值、改善图像细节信息^[12]方面,改进的小波双线性插值算法非常明显。为进一步进行曲线相似性判断做了充分的前期曲线处理工作。

然后利用斜率距离的方法,文献[13]中提出的斜率表示方法,对经过改进的小波双线性插值后的测井曲线段进行相似性判断。

算法实现如下:
用分段线性表示思想为基础,时间序列用序列分段斜率表示,设*i*段分段直线的斜率用*k*表示,每分段的结束时间为*t_i*,那么式(11)表示时间序列的斜率:

$$S = \{ (k_1, t_1), (k_2, t_2), \cdots, (k_i, t_i), \cdots, (k_n, t_n) \}$$

(11)

在抗噪性方面,这种方法比较强,可以直观地对序列的变化趋势进行描述^[13]。时间序列斜率距离以斜率表示为基础,如式(12)所示:

$$D_k(S', S'') = \left| \sum_{i=1}^n \Delta t_i (k'_i - k''_i) / t_n \right|, i = 1, 2, \cdots, n$$

(12)















其中, $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ 斜率距离突出了两序列趋势的相异性,物理意义非常明确,并且在计算复杂度时比其他方法的距离降低。

如表2所示,针对每个基准曲线段,均列出了其中3个与之对应的对比曲线段的深度范围,曲线图像以及三种度量方法的比对结果。实验数据显示,对同一基准井段,应用改进的小波双线性插值算法,再利用斜率距离方法^[13]进行对比,然后再进行相似性对比计算的结果,与采用双线性插值与全小波插值算法对曲线进行处理再进行相似性对比的计算结果相比,其斜率距离要小很多。从结果数据分析,从距离数值上看,距离越小的对比井段与基准井段越相似,而且相似的井段较人工识别结果为不相似的井段在距离数值上有明显的体现,相似性判断的结果更为合理,也比较利于人工以及计算机识别。

5 结束语

实验结果显示,文中提出的小波双线性插值改进算法在应用于测井曲线相似性判断时,既能够很好地对原始测井曲线的信息进行保持,又提高了测井曲线的空间分辨率^[14],而且还使测井曲线的峰值信噪比达到了最佳值;既对测井曲线的高频信息进行了改善,又提高了测井曲线的熵值。经过插值算法以及小波变换处理过的测井曲线更有利于人眼的观察,其细节信息更加丰富、更清晰、畸变也很小。实验结果表明,文中提出的改进小波双线性插值算法是一种提高测井曲线相似性判断的有效方法。

表2 三种方法识别实验结果

基准井段	对比井段	双线性插值	全小波插值	小波双线性插值	识别结果
 1 013.59- 1 017.50	 1 025.10- 1 028.70	18.14	17.65	12.46	不相似
	 1 025.04- 1 028.68	17.60	16.30	6.75	相似
 1 107.13- 1 130.36	 1 105.77- 1 107.50	18.39	15.46	10.22	不相似
	 1 205.03- 1 207.22	16.12	11.69	10.24	不相似
 1 236.05- 1 238.85	 1 235.79- 1 238.83	16.09	12.88	11.04	不相似
	 1 008.57- 1 012.06	14.52	10.45	5.42	相似
 1 178.15- 1 181.50	 1 174.43- 1 177.01	19.31	9.76	8.24	不相似
	 1 235.79- 1 238.83	21.24	11.47	11.64	不相似
 1 178.63- 1 182.05	 1 235.79- 1 238.83	18.72	10.11	6.20	相似

参考文献:

[1] 刘笑宙,涂国防. 小波双线性插值应用于光学遥感图像[J]. 中国科学院研究生院学报,2003,20(1):39-43.

[2] 邹长春,潘令枝. 一种基于小波变换的测井曲线去噪新方法[J]. 物探与化探,1999,23(6):462-466.

[3] 王 萍,唐 渤,马 楠,等. 一种基于虚拟井和多层对比的地层对比方法[J]. 天津大学学报,2009,42(8):744-751.

[4] 李先鹏. 一种基于层序分析的相对深度校正方法[J]. 内蒙

(下转第74页)

具有较高的时间复杂度;由图(c)、(d)看出,聚类系数和环路系数对于发现网络中的核心节点表现不是很好;由图(e)、(f)可以直观看出,KSA 算法与在 Google 引擎上取得巨大成功的 PageRank 算法具有很大的相似性。

对节点的重要性分析发现:PageRank 算法认为节点 3 的重要性大于节点 2 和节点 4,而文中提出的算法认为节点 3 的重要性小于节点 2 和节点 4。空手道俱乐部网络存在两个社团,采用经典的 GN 算法^[14]进行社团划分时,节点 3 具有较大的歧义性,在多次划分结果中,有时属于左边的社团,有时属于右边的社团;而采用谱平分法划分社团时,节点 3 被错误划分在左边的社团中。因此,从社团核心节点的角度来看,节点 2 与节点 4 的重要性要大于节点 3,说明了文中算法的有效性。

3 结束语

发现网络中的重要节点具有十分重要的意义,例如可以提高信息的传播速度,免疫重要节点能够有效减缓甚至控制流行病的传播。文中基于 $K - \text{Shell}$ 算法,考虑了节点间的重要度贡献,引入影响度概念,使节点对其邻接点的重要度贡献值具有差异,这样更符合实际情况。根据节点间的重要度贡献构造了一个重要度贡献矩阵,由此提出了一个关键节点的发现算法。通过实验验证分析,该方法可行有效,能够有效发现网络中的重要节点,在具有社团结构的网络中,能够十分准确地发现社团内部的核心节点。

参考文献:

[1] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of 'small-world' networks[J]. Nature,1998,393:440-442.

(上接第 69 页)

古石油化工,2009(14):28-30.

[5] 张 军,李洪奇.常规测井资料质量自动验收方法研究与软件应用[J].天然气工业,2010,30(3):44-47.

[6] 朱光明,李庆春,胡建平.数字信号分析与处理[M].西安:陕西人民教育出版社,2003.

[7] 周 伟,桂 林,周 林,等. MATLAB 小波分析高级技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2006.

[8] 雍世和,张超谟.测井数据处理与综合解释[M].东营:石油大学出版社,1996.

[9] Keogh E, Pazzani M. An enhanced representation of time series which allows fast and accurate classification, clustering and relevance feedback[C]//Proceedings of the 4th international conference on knowledge discovery and data mining. New York, NY:IEEE,1998:239-241.

[2] Barabási A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science,1999,286:509-512.

[3] Albert R, Jeong H, Barabási A L. Error and attack tolerance of complex networks[J]. Nature,2000,406:378-382.

[4] Callaway D S, Newman M E J, Strogatz S H, et al. Network robustness and fragility: percolation on random graphs[J]. Phys Rev Lett,2000,85(25):5468-5471.

[5] Cohen R, Erez K, Ben-Avraham D, et al. Breakdown of the Internet under intentional attack[J]. Phys Rev Lett,2001,86(16):3682-3685.

[6] Weng J, Lim E P, Jiang J, et al. Twitterank: finding topic-sensitive influential twitterers [C]//Proc of WSDM. New York:ACM Press,2010:261-270.

[7] Kitsak M, Gallos L K, Havlin S, et al. Identification of influential spreaders in complex networks[J]. Nat Phys,2010,6:888-893.

[8] Zhou Xuan, Zhang Fengming, Li Kewu, et al. Finding vital node by node importance contribution matrix in complex networks[J]. Acta Physica Sinica,2012,61(5):050201.

[9] 李鹏翔,任玉晴,席西民.网络节点(集)重要性的一种度量指标[J].系统工程,2004,22(4):13-20.

[10] 陈 勇,胡爱群,胡 啸.通信网中节点重要性的评价方法[J].通信学报,2004,25(8):129-134.

[11] 谭跃进,吴 俊,邓宏钟.复杂网络中节点重要度评估的节点收缩方法[J].系统工程理论与实践,2006,26(11):79-83.

[12] 蒋丰景,陈玥琪.复杂网络中节点重要度的一个评估指标[J].西安工程大学学报,2014,28(1):140-142.

[13] 张斌武,邹 森,王 勤.复杂网络上节点重要度的确定方法[J].兰州理工大学学报,2013,39(3):85-87.

[14] Girvan M, Newman M E J. Community structure in social and biological networks[J]. Proc Natl Acad Sci,2001,99:7821-7826.

[10] Degnan J J. Theory of the optimally coupled Q-switched laser [J]. IEEE Journal of Quantum Electronics,1989,25(2):214-220.

[11] Domings P. MetaCost: a general method for making classifiers cost-sensitive[C]//Proceedings of the 5th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining. San Diego, CA:ACM,1999:155-164.

[12] 刘 静,杨秀文.小波变换在孔隙度曲线去噪分析中的应用[J].河南石油,2002,16(2):4-5.


[13] 张建业,潘 泉,张 鹏,等.基于斜率表示的时间序列相似性度量方法[J].模式识别与人工智能,2007,20(2):271-274.

[14] Basiev T T, Karasik A Y, Osiko V V. Technologies of perforation of closely spaced micron holes with the help of neodymium[J]. Quantum Electronics,2009,39(4):385-387.

小波双线性插值算法在测井曲线相似中的应用

作者：[尚福华](#)，[柴艳领](#)，[杜睿山](#)，[吉喆明](#)，[SHANG Fu-hua](#)，[CHAI Yan-ling](#)，[DU Rui-shan](#)，[JI Zhe-ming](#)

作者单位：[尚福华, 柴艳领, 杜睿山, SHANG Fu-hua, CHAI Yan-ling, DU Rui-shan\(东北石油大学 计算机与信息技术学院, 黑龙江 大庆, 163318\)](#)，[吉喆明, JI Zhe-ming\(中国石化胜利油田分公司河口采油厂采油四矿, 山东 东营, 257200\)](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015(9)

引用本文格式：[尚福华](#). [柴艳领](#). [杜睿山](#). [吉喆明](#). [SHANG Fu-hua](#). [CHAI Yan-ling](#). [DU Rui-shan](#). [JI Zhe-ming](#) [小波双线性插值算法在测井曲线相似中的应用](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(9)