

文章编号: 2096-1618(2016)05-0453-05

基于曲线拟合的图像边缘突出显示

文武, 魏敏, 何嘉

(成都信息工程大学计算机学院, 四川 成都 610225)

摘要:在对于各向异性滤波进行讨论的基础上,提出一种基于曲线拟合进行边缘提取的方法。该方法通过获取到图像中信息点之间的相关性,利用相关性判别信息点与噪声点并进行滤波。处理过程中在边缘位置采取了一维滤波,在非边缘位置进行常规的二维滤波,该方法克服了传统的方法受边缘外信息的影响较大的缺点。分别采用传统方法、各向异性方法及曲线拟合滤波方法进行对比试验,实验表明该方法能有效地突出图像的边缘显示并且没有增强噪声,具有较强的实用性。

关键词:计算机软件与理论;信号处理;倾角;相关系数;各向异性滤波;曲线拟合

中图分类号:TP391.9

文献标志码:A

0 引言

随着数据采集系统的部署面越来越多,越来越多的领域涉及对于获取图像的识别及处理。由于信号采集环境的不同导致噪声信号与有效信号之间的相关性有差异,处理方法的选择上往往差距很大。传统方法在对图像信息进行去噪总会把一些外部信息带进有效信息中,如均值滤波、中值滤波、高斯滤波等在对噪声进行滤除的同时会模糊图像的边缘。另一方面由于尺度选择一致,各个方向的边缘提取效果也差别很大。近些年,滤波方法逐渐从传统的各向同性发展为各向异性滤波方法。Perona 和 Malik^[1]1990 年提出一种基于偏微分方程的各向异性扩散滤波技术,但该方法容易出现图像集块或阶梯现象(也叫“块效应”),边缘保持的效果不理想,且无法滤除边界上的噪声。为提升边缘保存的效果,Catté^[2]在 1992 年实验用原始图像与高斯滤波器进行卷积,降低噪声点的梯度,使强的灰度阶跃保留,再运用 P-M 方程进行滤波。虽然 Catté 在一定程度上改进了保边去噪的效果,但由于引入高斯滤波器,在一定程度上仍然模糊了边界。为此,拟在边缘处沿边缘走向进行一维滤波,在非边缘位置进行常规的二维滤波,这样在滤波的过程中可保证边缘不受边缘外信息的影响。但是,如何准确地拟合出边界就成了解决问题的关键。

提出一种基于相关系数进行二项式拟合突出图像边缘显示的方法。Bahorich 和 Farmer^[3]在三维地震数据的可视化断层和地层解释中应用中利用数据间的相关性进行数据处理,通过数据间的相关性检测有效地

获取到断层和地层的走向。Marfurt 等^[4]在地震数据的计算中利用相关性扫描倾角提升曲率计算的精度,该方法较好的压制随机噪声和相干噪声、改善反射同相轴的连续性,正确地识别振幅的异常区域,提升曲率计算的精度。在地震三维成像中,常应用相关性进行信息提取与噪声剔除。如 Wenkai Lu 等^[5]提出一种基于相关性滤波的方法的地震解释。该方法通过局部倾角扫描,并根据倾角建立方向多项式,利用多项式滤除噪声信号。Wei Wang 等^[6]提出一种边缘保持平滑矢量滤波器,应用相关性进行边缘保持。

主要思路是利用图像信号的相关性获取图像信息的变化趋势,并根据变化趋势进行二次曲线拟合,对于曲线外的点进行信息剔除。实验证明,这种方法对于一些边缘信息明显的图像去噪效果非常明显。

1 基于曲线走向保持的滤波算法

量子物理学的基础方程 Schrodinger 可以解决量子形态如何随时间演化,在三维势场中的定态 Schrodinger 方程如式(1)所示。

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + V(x)\psi \quad (1)$$

式中 $\Psi = \Psi(t, x)$ 为量子粒子波函数, $V(x)$ 为外部势场, $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ 为拉普拉斯算子, $i = \sqrt{-1}$ 为虚数单位, m 为粒子质量, \hbar 为普朗克常数。在定态上,任何不显示时间的力学量的平均值都不随时间变化。

受量子力学的启发, Guy Gilboa^[7]将传统的实数域方程扩散方程扩展到复数域,与自由薛定谔方程结

合,得到复数域线性扩散方程,如式(2)。

$$\begin{cases} I_t = c \cdot I_{xx}, & t > 0, x \in R \\ I(x;0) = I_0 \in R, & c, I \in R \end{cases} \quad (2)$$

当 $\theta \in (-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$, 线性扩散方程(2)的基本解为

$$h(x;t) = Ag_{\sigma}(x;t) \exp(i\alpha(x;t)) \quad (3)$$

$$\text{其中 } g_{\sigma}(x;t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(t)}} \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma^2(t)}\right), \quad A = \frac{1}{\cos(\theta)},$$

$$\alpha(x;t) = \frac{x^2 \sin(\theta)}{4tr} - \frac{\theta}{2}$$

当 $t \geq 0$ 有物理意义, 当 $\theta \rightarrow 0$ 时, 复数域扩散近似解为

$$\begin{cases} \lim_{\theta \rightarrow 0} \text{Re}(I) = g_{\sigma} \cdot I_0 \\ \lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\text{Im}(I)}{\theta} = tr \Delta g_{\sigma} \cdot I_0 \end{cases} \quad (4)$$

当 $\theta \rightarrow 0$ 时, 虚部可以近似看成图像的高斯褶积的拉普拉斯变化, 因此可以利用它进行图像边缘检测, 但单纯利用虚部获取的边缘比较粗糙。Osher 和 Ru-

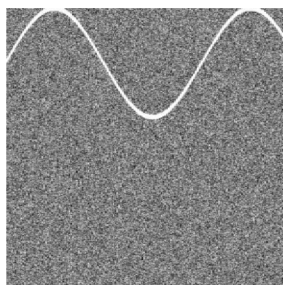
bin^[8]进行了改进, 提出一种双曲线方程作为一种稳定锐化处理过程, 该方法的基本思想是首先在图像极大值附近使用膨胀算子, 而在最小值附近使用腐蚀算子。通过拉普拉斯算子判断像素点是否在极大值或者极小值附近。滤波方程为

$$I_t = -|I_{xx}|F(I_{xx}) \quad (5)$$

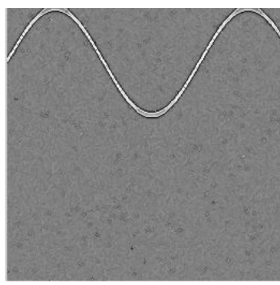
在图像中该公式为

$$I_t = -\text{sign}(I_{\eta\eta}) |\nabla I| \quad (6)$$

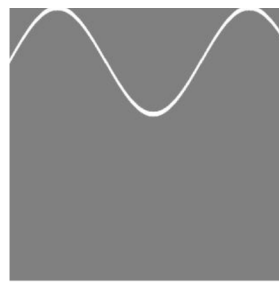
式中, η 为梯度方向。该滤波器主要作用是检测图像的灰度拐点, 增大拐点两侧灰度的差异, 因此该方法对于噪声特别敏感, 即使很少的噪声也会使该滤波器放大噪声, 针对该滤波器的缺陷, 提出许多改进方法减少噪声的敏感性。基于以上思想, 为减少噪声影响, 仅仅沿曲线走向进行信息保持, 而对于曲线走向外的信息进行去噪处理。图 1(a) 为理论模型图, 图中设计了一个正弦曲线信号, 其他为随机噪声。图 1(b) 为各向异性滤波方法结果图^[9], 图 1(c) 为沿曲线走向滤波图。



(a)原图



(b)各向异性滤波



(c)曲线拟合滤波

图1 两种方法比较结果

比较图 1(b) 与图 1(c) 中结果可以看出, 尽管各向异性滤波在一定程度上保持边界的走向, 但信噪比仍需进一步提高。而曲线拟合滤波图不仅很好地保持了边界的走向, 滤波效果非常好。

尽管通过理论模型试验, 曲线拟合滤波显示效果非常好。但当应用于实践时发现, 大多数边缘线不规则, 因此无法根据已知曲线进行滤波, 需要在滤波时首先确定曲线方程。

2 曲线拟合算法

一般而言, 图像边界的像素值是相似的或渐变的。因此可考虑利用相邻点像素值的相似性获取图像边界。将整幅图像分成固定大小的正方形区域, 对于每块区域进行单独处理, 确定图像的边界区域。设每小块的大小为 $m \times m$, 单位为像素。先计算每个小块的方向, 然后对于具有边界区域的小块进行一维滤波, 对于

边界区域小块外的区域进行常规的二维滤波^[10]。

2.1 图像点之间的相似关系判断

以变量间的相关系数作为相关性的判断依据, 通常各类变量之间的近似程度以相关系数作为统计指标。以做积差的方法计算相关系数, 将两个变量分别与自身的平均值进行离差, 把两个变量的离差进行乘积体现两个变量之间的相关性程度。

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

在图像中, 对于两个都为 n 维的样本点 $M(a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n})$ 和 $N(a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n})$, 可以使用像夹角余弦这样的概念模拟这 2 个二维样本点间的相似程度。

$$\cos\theta = \frac{a \cdot b}{|a||b|}$$

$$\cos\theta = \frac{\sum_{i=-k}^k x_{1k}x_{2k}}{\sqrt{\sum_{i=-k}^k x_{1k}^2}\sqrt{\sum_{i=-k}^k x_{2k}^2}}$$

夹角的余弦值域为 $[-1,1]$ 。夹角的余弦越小表示两个样本点向量的夹角越大,夹角的余弦值越大表示两个样本点向量的夹角越小。当两个向量的方向完全重合时夹角的余弦取得最大值为 1,当两个向量的方向相反时夹角的余弦值取得最小值为-1。通过计算可以获得图像中相关系数公式

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=-K}^K \left[u\left(x_0, y_0 + \frac{(x_i - x_0)}{\cos\theta}\right) u(x_0, y_0) \right]}{\sqrt{\sum_{i=-K}^K u^2\left(x_0, y_0 + \frac{\Delta x}{\cos\theta}\right)} |u(x_0, y_0)|} \tag{7}$$

2.2 边界走向的确定

根据图像边缘的特点,设计理论模型图(图 2)。目的是展示图像边界走向。

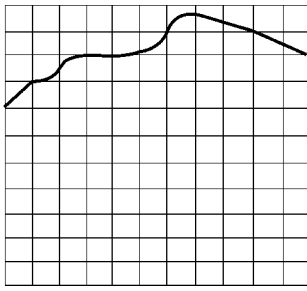


图 2 理论模型

沿像素点向 $[-90,90]$ 方向进行扫描搜索,图 3 显示以按照倾角方向搜索与图形信号变换最相关的点。根据式(7)求取最大相关系数的方向定为图像倾角方向,将该方向设置为边界的走向。

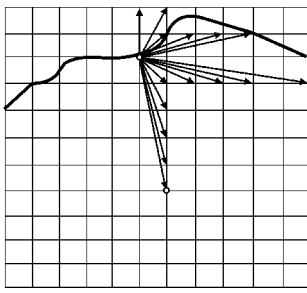


图 3 沿倾角搜索

2.3 边界区域的确定

对于划分的正方形区域中的像素点进行决策判断,决策规则为

$$r_{xy\max} - r_v > \zeta$$

其中 $r_{xy\max}$ 为最大相似系数, r_v 为垂直方向相似系数, ζ 为相似度阈值,区域中有 >1 个点满足决策规则,则认

为该区域为边界区域。图 4 展示边界区域确定情况。

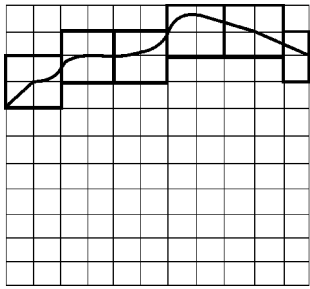


图 4 边界区域确定

2.4 边界区域内的滤波

在正方形区域内对于满足边界的点进行处理,如果出现 >2 个点满足决策规则,则进行曲线拟合,对于图像像素点 $\{(x_i, y_j)\} (i=0,1,\dots,l; j=0,1,\dots,l)$,在取定的函数类 Φ 中,求 $f(x) \in \varphi$,使误差的平方和 E^2 最小,生成拟合曲线。

$$E^2 = \sum (f(x_i) - y_j)^2$$

对于拟合曲线上的点,进行增强处理。

2.5 边界区域外的滤波

正方形区域内,如果不出现 >1 个点满足决策规则,则这些区域进行常规滤波处理,如果出现 1 个点满足决策规则,搜索其周围是否存在满足决策规则点的正方形区域,如果不存在,按照常规滤波处理。

3 实验结果及分析

撞击坑是月球表面最重要的地质构造之一,通过对遥感影像中撞击坑的边缘清晰度进行评价,可以进一步反演出月球表面的风化程度、地表起伏等地质信息。但由于光照及自然条件等因素影响导致阈值选取比较困难,而且相邻点的空间相关性较高^[11]。因此选择曲线拟合进行边缘提取。

图 5(b)~图 5(f)分别采用常规的边缘提取方法进行边缘检测,从效果中可以看到边缘信息丢失严重,原因主要在于常规方法将边缘外信息带入边缘中,影响了边缘。图 6(b)~图 6(f)结果也很类似。但通过图 5(b)~图 5(f)结果与图 6(b)~图 6(f)结果的比较发现,图 5(b)~图 5(f)结果还有部分边缘保持较好,而图 6(b)~图 6(f)结果显示边缘保持非常不好,主要原因在于,每个方向采用相同的尺度较大的影响了检测效果。

图 5(g)与图 6(g)均采用各向异性滤波方法进行边缘提取,通过实验可以看出各个方向的边缘提取情况都较好,但“块效应”非常明显。图 5(h)与图 6(h)是本例方法,总体效果显示比较好。

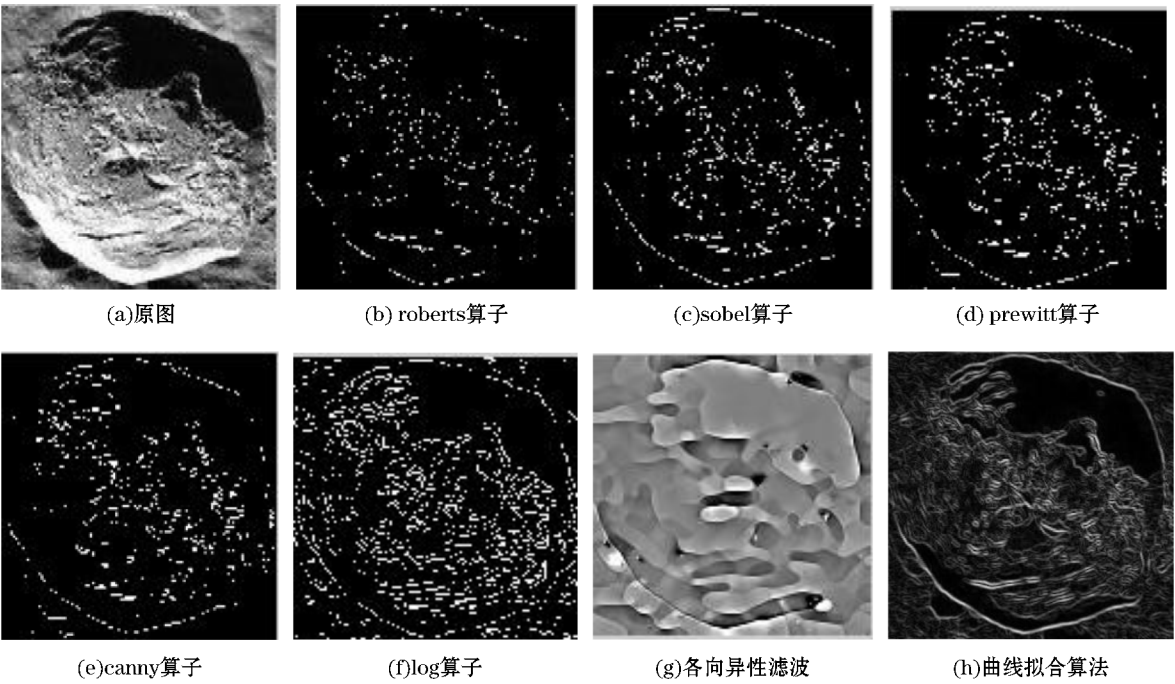


图 5 实例 1 实验图

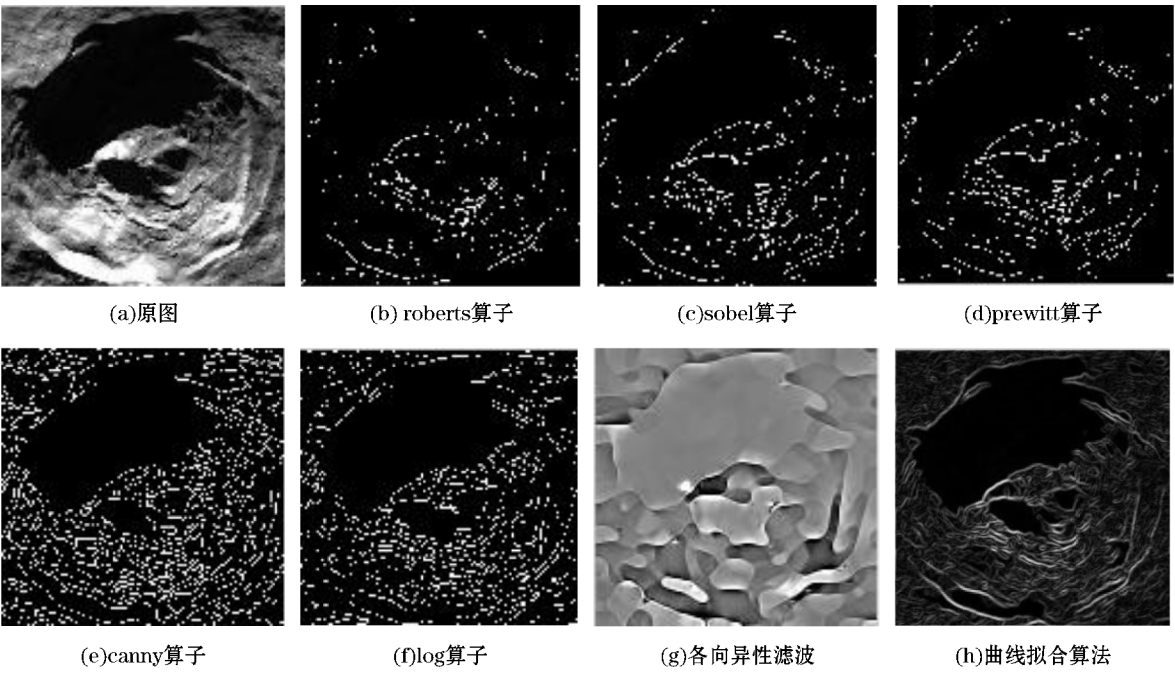


图 6 实例 2 实验图

表 1 算法 PSNR 比较

实例	roberts	sobel	prewitt	canny	log	各向异性滤波	曲线拟合算法
1	13.357	13.678	14.109	14.341	14.983	15.8758	17.784
2	14.223	14.127	14.450	15.234	15.692	16.0442	16.671

通过对两组图像进行实验,结果表明,文中算法无论主观视角感受还是峰值信噪比(PSNR)都明显优于传统方法。相对于各向异性滤波算法,信噪比提升程度更高,同时各向异性滤波在边缘信息复杂的图像中容易产生块状信息。

4 结束语

提出一种基于曲线走向进行滤波的方法,与传统方法比较,该方法是利用图像像素间的相似关系检测

边缘的走向,而相似关系由像素点变化的倾角来界定,该方法有以下优点:

(1)该方法通过生成拟合曲线进行滤波,生成结果受相邻像素点影响较传统方法小,且滤波完全,在边缘提取的同时不会强化噪声;

(2)该方法通过倾角判断获取变化信息,能检验各个方向的变化情况,有效克服传统方法收方向性影响较大的情况,具有各向异性滤波的优点;但对于无明显边缘信息的图像,使用本方法处理效果不好。如何对于无明显边缘信息的图像进突出显示将是后续研究的方向之一。

参考文献:

- [1] Perona P, Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(7): 629-638.
- [2] Catte F, Lions P L, Morel J M, et al. Image Selective Smoothing and Edge Detection by Nonlinear Diffusion[J]. SIAMJ. Num. Anal, 1992, 29(1): 182-193.
- [3] Bajorich M S, Farmer S L. 3-D Seismic coherency for faults and stratigraphic features; The Leading Edge, 1995, 32(3): 1053-1058.
- [4] Marfurt K J, Kirilin R L, Steven S L. 3-D seismic attributes using a semblance-based coherency algorithm[J]. Geophysics, 1998, 63(4): 1150-1165.
- [5] Wenkai Lu, Shanwen Zhang, Huanqin Xiao. Noise reduction in coherence cube[J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2004, 30(6): 2120-2123.
- [6] Wei Wang, Jinghuai Gao, Hui Zheng, et al. Edge preserving vector filter for smoothing reflector dip and azimuth[J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2010, 33(7): 1488-1493.
- [7] S J Osher, L I Rudin. Feature-Oriented Image enhancement using Shock Filters[J]. SIAM J. Numer. Anal. 1990, 27: 919-940.
- [8] G Gilboa, N Sochen, Y Y Zeevi. Image Enhancement and Denoising by Complex Diffusion Processes[J]. to appear in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), 2004.
- [9] G Gilboa. Matlab code link[EB/OL]. [http://tiger.technion.ac.il/_gilboa/PDE-based image filtering.html](http://tiger.technion.ac.il/_gilboa/PDE-based%20image%20filtering.html).
- [10] 肖小玲, 张翔. 基于方向滤波的成像测井裂缝检测方法研究[J]. 长江大学学报, 2010, 7(4): 69-71.
- [11] 都骏, 苗放. 月球撞击坑边缘清晰度的评价方法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(15): 179-183.
- [12] 文武, 苗放. 复数域非线性扩散滤波在图像处理中的应用[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(6): 57-60.
- [13] 文武, 苗放. 基于小波的多尺度边缘检测在遥感图像处理中的应用[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(2): 18-20.
- [14] 康莉, 谢维信, 黄敬雄. 一种基于蚁群算法的多目标跟踪数据关联方法[J]. 电子学报, 2008, 36(3): 586-589.
- [15] 唐亮, 谢维信. 从航空影像中自动提取高层建筑物[J]. 计算机学报, 2005, 28(7): 1199-1204.

Highlight the Image Edge based on Curve Fitting

WEN Wu, WEI Min, HE Jia

(College of Computer Science, CUIT, Chengdu 610225, China)

Abstract: In this paper a new method of edge detection based on curve fitting. This method is proposed based on a detailed discussion on the anisotropic filtering. his method the relation of the image information, then information and noise filtering. The edge position adopted one-dimensional filtering, two-dimensional filtering routine in the nonedge position. This method can overcome the influence of the traditional method by the edge information. The comparison test the traditional method, anisotropic method and curve filtering method, the experiments show that the curve filtering method can highlight the edge of the image effectively and does not enhance the noise. The method has strong practicability.

Key words: computer software and theory; signal processing; inclination; correlation coefficient; anisotropic diffusion; curve fitting