

文章编号:1671-251X(2015)04-0074-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.04.019
江静,朱元忠.基于Mean shift算法的煤岩分界识别[J].工矿自动化,2015,41(4):74-77.

基于 Mean shift 算法的煤岩分界识别

江静^{1,2}, 朱元忠³

- (1. 中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083;
2. 华北科技学院机电工程学院, 河北燕郊 065201;
3. 北京工业职业技术学院电气与信息工程学院, 北京 100042)

摘要:提出了一种基于Mean shift算法的煤岩分界识别方案。首先介绍了Mean shift算法原理,通过关联图像的像素位置向量和灰度值构建了一个空间联合域;然后给出了适用于煤岩图像分割的带宽参数选择方法,以去除虚假孤立区域和杂散边界;最后利用煤岩图像的人造边界和真实边界进行仿真,结果表明Mean shift算法较K-means算法能更准确地获得煤岩分界线。

关键词:煤岩分界;煤岩识别;Mean shift算法;图像分割

中图分类号:TD679 文献标志码:A 网络出版时间:2015-03-31 08:40

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150331.0840.019.html>

Coal-rock interface recognition based on Mean shift algorithm

JIANG Jing^{1,2}, ZHU Yuanzhong³

- (1. School of Mechanical Electronic and Information Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. School of Mechanical-Electrical Engineering, North China Institute of Science and Technology, Yanjiao 065201, China;
3. School of Electrical and Information Engineering, Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China)

Abstract: A coal-rock interface recognition scheme was proposed which was based on Mean shift algorithm. Firstly, principle of Mean shift algorithm was introduced. The pixel position vector and gray value were concatenated to create a joint spatial-range domain. In order to remove isolated areas and spurious boundaries, a selection method of bandwidth parameters in Mean shift were given, which was applicable to coal-rock image segmentation. Simulation results using synthetic and real coal-rock images show Mean shift algorithm can get coal-rock boundary more accurately than K-means algorithm.

Key words: coal-rock interface; coal-rock recognition; Mean shift algorithm; image segmentation

0 引言

目前中国大中型煤矿企业通常采用双滚筒采煤机组,即采煤机的首尾两端各悬挂1个截割滚筒,工作时双向采煤。前滚筒主要负责截割工作面上部及顶部煤层,后滚筒主要处理工作面下部煤层。2个滚筒截割旋转方向相反,一次操作采全高^[1]。采煤

机一旦出现故障,将直接导致整个工作面瘫痪,造成矿区减产甚至停产。因此,保证采煤机安全、可靠运行是煤炭科技工作者的重要任务。

采煤机通过旋转工作机构以破煤方式进行开采,阻力较大,故障主要源自零部件的机械磨损^[2]。此外,煤层与岩层的物理结构完全不同,采煤机在掘进过程中,如果滚筒截齿连续截割顶板岩石,将加剧

收稿日期:2015-02-04;修回日期:2015-03-18;责任编辑:李明。

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(51134024);国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA062203)。

作者简介:江静(1979—),女,江苏连云港人,副教授,博士,研究方向为工作面煤岩边界识别、图像处理与分析,E-mail:jiangjing@cumt.edu.cn。

滚筒磨损,直接降低其工作寿命。现有的解决措施是通过人眼目测煤岩分界,调节滚筒的高度,避免截割顶部岩石。但工作面现场噪声严重,粉尘弥散,能见度较差,难以准确把握滚筒的垂直距离。

Mean shift 算法最初由 K. Fukunaga 和 L. Hostetler^[3]提出,将其定义为变量偏移的均值,用向量表示。CHENG Yizong^[4]在 Mean shift 算法中引入了核函数,重构了数学模型,并为每个数据采样点分配了权重,极大地扩充了 Mean shift 算法的应用范围。D. Comaniciu 等^[5-6]将 Mean shift 算法应用到特征空间的分析中,证明该算法在一定条件下,可以收敛到概率密度函数的稳态点,并在图像平滑和图像分割中有较好的应用效果^[7]。鉴于 Mean shift 算法可对图像进行聚类分割的特点,笔者尝试将 Mean shift 算法用于实现煤岩图像分界识别,以实现采煤机滚筒的自动调高控制。

1 Mean shift 算法

在多维空间中,选取 N 个数据采样点 $x_i, i=1, 2, \dots, N$, 构成 Mean shift 向量:

$$\mathbf{M}(x) = \frac{1}{k} \sum_{x_i \in S_R} (x_i - x) \quad (1)$$

式中: k 为 N 个数据采样点中处于 S_R 范围内的采样点数; S_R 为一个多维球形空间, R 为截面半径; $x_i - x$ 为数据采样点 x_i 与聚类中心点 x 的偏差。

求解 $\mathbf{M}(x)$ 可理解为在 S_R 内的 k 个数据采样点中,计算该采样点与聚类点之间的偏移向量,并求取平均值,如图 1 所示。大圆表示 S_R , 小圆表示 x_i , 实心圆即球心,表示 x 。箭头表示向量,该向量以球心为起点,落在球内的采样点为终点,向量的模为采样点与聚类中心点间的偏差,向量的方向总体上指向采样点数据分布密集的区域。 $\mathbf{M}(x)$ 的偏移方向即概率密度函数的梯度方向。

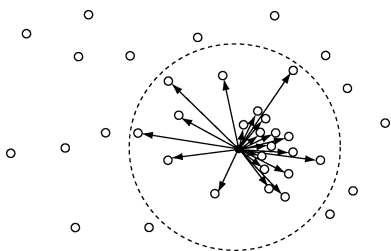


图 1 Mean shift 算法示意

2 基于 Mean shift 算法的煤岩分界识别方案

2.1 概率密度梯度估计

采用 Parzen 窗函数作为概率密度估计函数:

$$\hat{\mathbf{M}}(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n c_{k,d} K\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right) \quad (2)$$

式中: n 为 Parzen 窗函数所取序列的位置; h 为 Parzen 窗函数的位置序列; d 表示多维空间; $c_{k,d}$ 为单位密度,为常数; $K(\cdot)$ 表示核函数。

概率密度估计器的梯度是递增的, Mean shift 算法通常收敛于密度梯度的局部极大值点。为得到该极值点,需要求取概率密度函数的梯度,即

$$\nabla \hat{\mathbf{M}}(x) = \frac{2c_{k,d}}{nh^{d+2}} \left[\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right) \right] \times \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)} - x \right] \quad (3)$$

式中: $g(\cdot)$ 为核密度估计函数。

2.2 聚类策略

Mean shift 算法作为一种搜索算法,若取极值,

$$\text{令 } \nabla \hat{\mathbf{M}}(x) = 0, \text{ 当且仅当 } \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h_n}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h_n}\right\|^2\right)} - x = 0$$

(h_n 为第 n 个序列位置的窗函数参数)时才能获得有意义的坐标。聚类策略是沿着概率密度函数梯度上升的方向移动,移动步长取决于坐标点位置。

假设存在核函数位置序列 $\{y_j\}, j=1, 2, \dots, n$, 则迭代表达式为

$$y_{j+1} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h_n}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h_n}\right\|^2\right)} \quad (4)$$

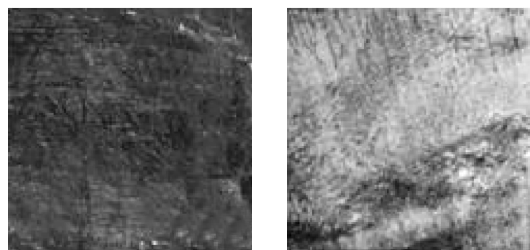
令核函数的初始中心点作为起始点 y_1 , 通过迭代运算,将移动后的数据采样点作为下一个起始点,继续循环,直到满足收敛条件 $\mathbf{M}(x) - x \leq \epsilon$, 其中 ϵ 表示算法误差许可的范围值,收敛至 y_{n+1} 。

2.3 煤岩图像 Mean shift 分割参数选择

实验采用神华神东煤炭集团大柳塔煤矿大柳塔井 52303 综采工作面的煤面与岩面原始图像,如图 2 所示。

煤面与岩面图像通常是一种二维位置坐标的空间域图像,也可用灰度值表示,作为一种特征域图像。本文构建一个空间联合域,既可以表示像素位置坐标,又可以表示图像强度,在图像分割的时候,同时关联位置向量和灰度向量。空间联合域带宽参数表达式为^[8-10]

$$K_{h_s, h_r}(x) = \frac{C}{h_s^2 h_r^2} K\left(\left\|\frac{\mathbf{X}^s}{h_s}\right\|^2\right) K\left(\left\|\frac{\mathbf{X}^r}{h_r}\right\|^2\right) \quad (5)$$

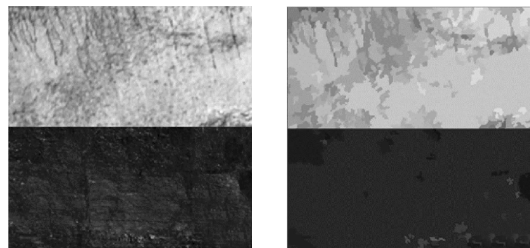


(a) 煤面原始图像 (b) 岩面原始图像

图 2 煤面与岩面原始图像

式中: C 为归一化常量; h_r 为特征域带宽参数; h_s 为空间域带宽参数; p 为特征域, 表示图像强度, $p=1$ 为灰度图像, $p=3$ 为彩色图像, $p>3$ 为多波段光谱图像; $\mathbf{X}^s$ 表示空间域向量; $\mathbf{X}^r$ 表示特征域向量。

Mean shift 算法在迭代过程中, 通过调节带宽参数 h_s, h_r 来获得更好的视觉效果。 h_s 代表空间域各聚类结果之间的距离, 调节 h_s 主要影响图像的光滑性以及图像分割块之间的关联性。 h_s 的选择通常取决于原始图像的尺寸。 h_r 代表频域各聚类结果之间的距离, 与图像分割的数量密切相关, 如果图像对比度低, 则 h_r 应设为低值。调节 h_s, h_r 参数对图像分割的影响如图 3 所示。可看出 $h_s=15, h_r=20$ 时图像分割效果可接受, 因此选取 $h_s=15, h_r=20$ 。



(a) 原始图像 (b) $h_s=4, h_r=4$

(c) $h_s=8, h_r=7$ (d) $h_s=15, h_r=20$

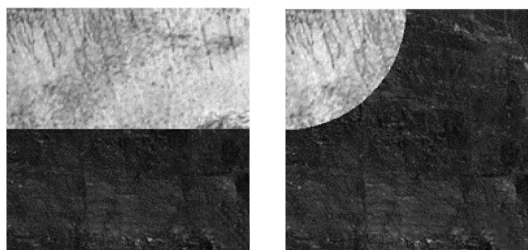
图 3 Mean shift 参数值对图像分割的影响

3 实验结果与分析

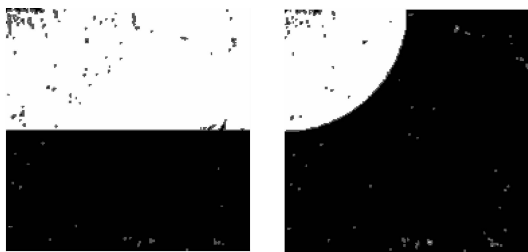
利用仿真软件构造煤岩图像的人造边界, 分别采用 K-means 算法和 Mean shift 算法进行煤岩边界识别。人造煤岩边界如图 4(a)所示。其中左图为煤岩的直线边界, 上部表示岩层, 下部为煤层; 右图为煤岩的曲线边界, 左上部为岩层, 右下部为煤层。

实验选取的煤岩分界原始图像尺寸为 $256 \times$

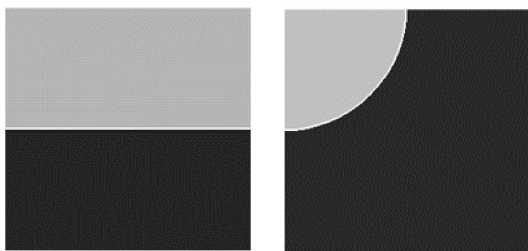
256, 标记空间窗为 25×25 , 特征窗范围为 $1 \sim 50$, 允许最小区域为 15×15 。聚类过程中, 可将收敛到同一类的数据点标记为相同值, 收敛到不同类的数据点标记为其他值。经 K-means 算法处理的煤岩分界识别结果如图 4(b)所示, 可看出识别图像存在许多孤立点和杂散边界。经 Mean shift 算法处理的煤岩分界识别结果如图 4(c)所示, 可看出 Mean shift 算法能够有效地分割煤岩分界, 从而确定煤面区域和岩面区域。对于煤岩边界轮廓的提取, 首先初始化标记点, 将图像第 1 行和第 1 列所有点标记为边界; 其次将图像中的其他数据点与该点的四邻域点进行比较, 若灰度值变化显著, 则记为边界, 置为 1, 否则置为 0。煤岩边界标注结果如图 4(d)所示。



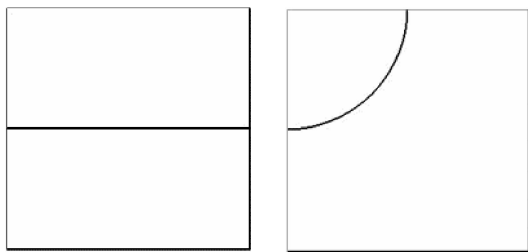
(a) 人造煤岩边界



(b) K-means 算法识别结果



(c) Mean shift 算法识别结果

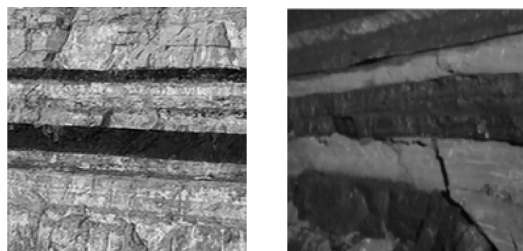


(d) 煤岩边界标注结果

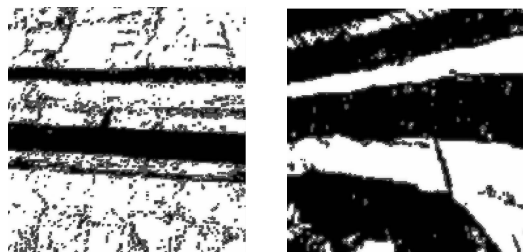
图 4 煤岩人造边界图像的识别结果

考虑到工作面照度低、粉尘大的特殊成像环境^[11], 真实工作面的煤岩边界图像与实验室仿真图

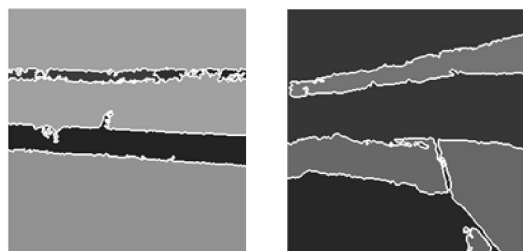
像存在一定差别。本文对工作面多层煤岩边界进行采样,获得边界的原始图像,如图 5(a)所示。图 5(b)为经 K-means 算法处理后的煤岩分界图像,可看出存在大量杂散边界,原因是 K-means 算法是一种基于图像灰度的方法,在光照条件差的井下环境,采集的煤岩图像中煤面与岩面的图像灰度范围存在交叉,单纯依赖图像灰度进行聚类必然导致边界杂乱。经 Mean shift 算法处理后的煤岩分界图像如图 5(c)所示,可看出该算法在图像分割过程中能够剔除小区域和孤立点,合并灰度相似的邻接区域,去除零散边界,从而获得清晰的煤岩分界线轮廓。图 5(d)为煤岩边界标注结果。



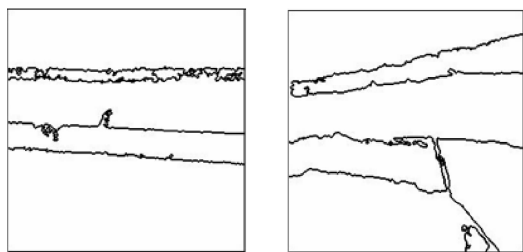
(a) 多层煤岩边界原始图像



(b) K-means 算法识别结果



(c) Mean shift 算法识别结果



(d) 煤岩边界标注结果

图 5 煤岩多层边界图像的识别结果

4 结语

基于 Mean shift 算法的煤岩分界图像识别方

案首先采用 Parzen 窗函数作为核函数估计概率密度,求取概率密度函数的梯度,给出聚类策略;然后通过选择煤岩图像带宽参数 h_s, h_r , 来获得更好的分割效果。用煤岩图像的人造边界和真实边界进行仿真试验,结果表明,Mean shift 算法具有剔除小区域、合并灰度相似区域的能力,同时能够保持图像边缘结构;与 K-means 算法相比,Meas shift 算法能够去除大量杂散边界,获得清晰的煤岩界线轮廓,适用于煤岩分界识别。

参考文献:

- [1] 李昌熙,于慕松.采煤机[M].徐州:中国矿业大学出版社,1990.
- [2] 刘春生,于信伟,任昌玉.滚筒式采煤机工作机构[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2010.
- [3] FUKUNAGA K, HOSTETLER L. The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1975, 21(1): 32-40.
- [4] CHENG Yizong. Mean shift, mode seeking, and clustering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790-799.
- [5] COMANICIU D, MEER P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619.
- [6] COMANICIU D, MEER P. Mean shift analysis and application [C]//Proceedings of the 7th IEEE International Conference Computer Vision, Kerkyra, 1999: 1197-1203.
- [7] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. The variable bandwidth mean shift and data-driven scale selection [C]//The proceedings of the 8th IEEE International Conference on Computer Vision, Vancouver, 2001: 438-445.
- [8] COMANICIU D. An algorithm for data-driven bandwidth selection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(2): 281-288.
- [9] CHRISTOPHER M B. Pattern recognition and machine learning [M]. New York: Springer Science Business Media, 2006.
- [10] RICHARD S. Computer vision: algorithms and applications [M]. New York: Springer, 2011.
- [11] 郝清玉,朱元忠,陈健.基于图像多小波变换的煤岩界面识别[J].工矿自动化, 2015, 41(2): 50-53.