



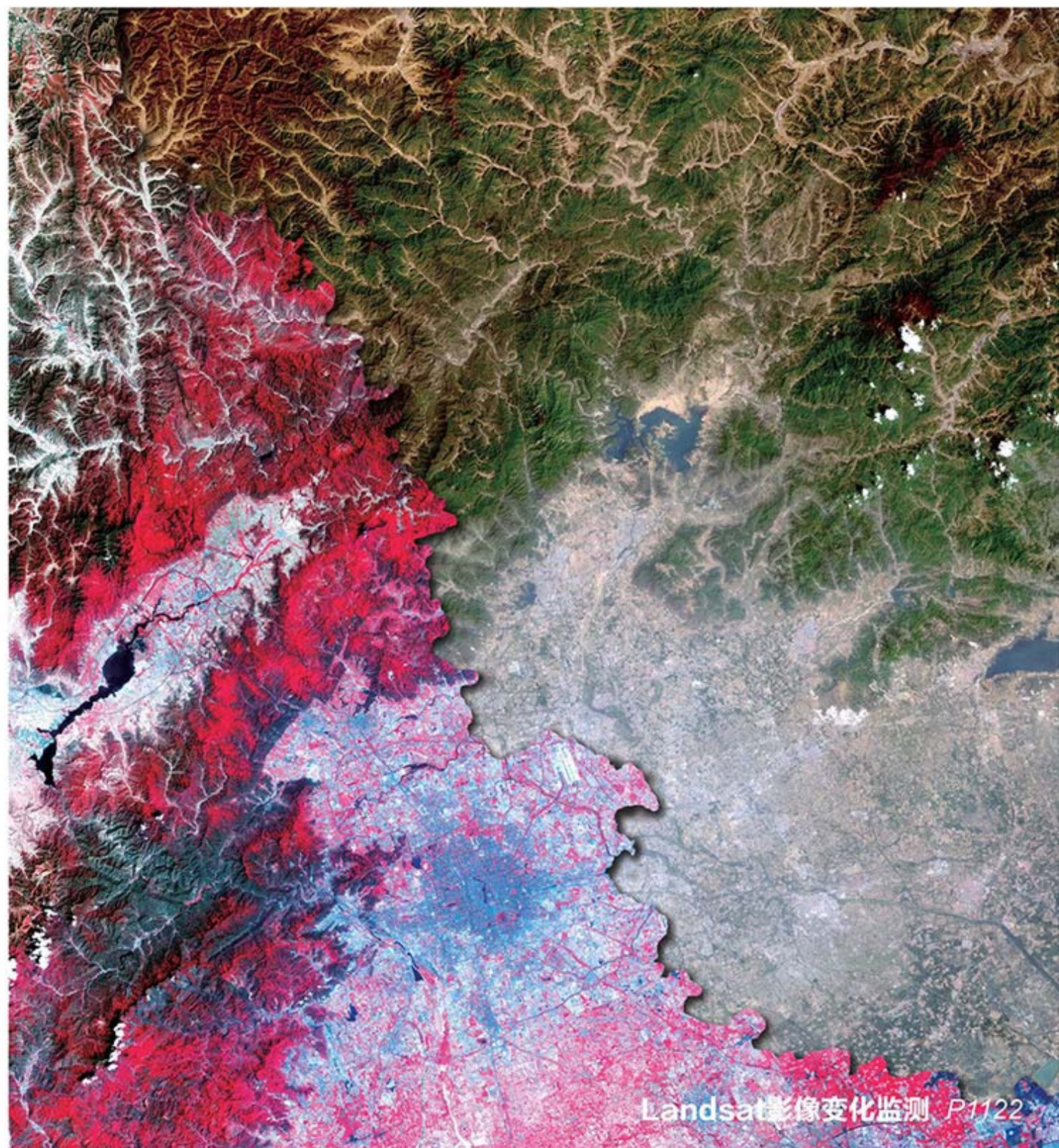
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2015
08
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



Landsat影像变化监测 P1122



第20卷第8期（总第232期）

2015年8月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@radi.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

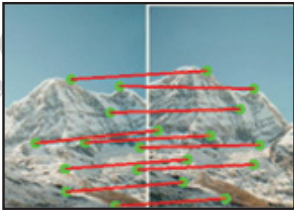
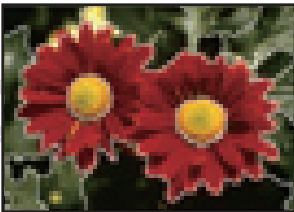
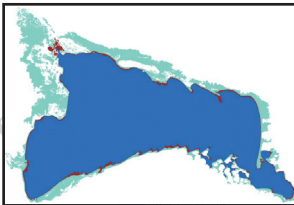
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元

利用Hough变换的匹配对提纯
(第1017页)结合格式塔完形规则的自然图
像分割(第1026页)利用长时间序列Landsat分析
博斯腾湖面积变化(第1122页)

图像处理 and 编码

CRT显示图像的色彩管理新模型

黎新伍, 王根生 0993

邻域窗口权重变分的图像修复

王猛, 翟东海, 聂洪玉, 王佳君 1000

自适应滤波窗实现距离加权图像椒盐噪声滤除

林亚明, 李佐勇, 林叶郁, 徐戈 1008

利用Hough变换的匹配对提纯

谢亮, 陈姝, 张钧, 田金文 1017

图像分析和识别

结合格式塔完形规则的自然图像分割

曾接贤, 王玉 1026

融合Kernel PCA形状先验信息的变分图像分割模型

杨建功, 汪西莉, 李虎 1035

基于2维灰度熵阈值选取快速迭代的图像分割

吴诗姘, 吴一全, 周建江, 孟天亮, 戴一冕 1042

基于图像线特征和点云面特征的水下人造目标定位

解则晓, 潘成成, 迟书凯, 魏征 1051

熵能量堆煤图像的定位与识别

袁姮, 王志宏, 姜文涛 1062

时空运动显著性的目标跟踪

谢昭, 刘玉敏, 张骏, 段士雷 1070

结合整体一致性和局部差异性的图像目标显著性检测

张小祥, 马儒宁 1083

基于Radon-经验模式分析的纹理分类

徐卓飞, 张海燕, 刘凯, 侯和平, 徐倩倩, 李利峰 1091

遥感图像处理

四叉树分块的高光谱图像分布式无损编码

王相海, 张智迪, 宋传鸣 1102

基于流形学习的彩色遥感图像分维数估算

王洪波, 罗贺, 王晓佳 1110

利用长时间序列Landsat分析博斯腾湖面积变化

孙爱民, 冯钟葵, 葛小青, 罗宇, 李山山, 闫芳, 冯旭祥 1122

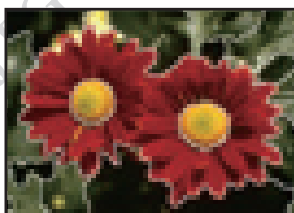
封面图片由中国科学院遥感与数字地球研究所卫星地面系统工程部李山山副研究员提供

CONTENTS

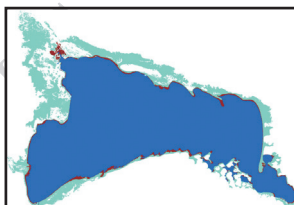
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Purifying algorithm for rough matched pairs using Hough transform (P1017)



Natural image segmentation method based on Gestalt rules (P1026)



Bosten Lake surface area changes analysis using long temporal Landsat image series (P1122)

Image Processing and Coding

- Color management model for CRT color image
Li Xinwu, Wang Gensheng 0993
- Image inpainting with weight variation of neighborhood window
Wang Meng, Zhai Donghai, Nie Hongyu, Wang Jiajun 1000
- Distance-weighted approach based on self-adaptive windows to remove salt and pepper noise in images
Lin Yaming, Li Zuoyong, Lin Yeyu, Xu Ge 1008
- Purifying algorithm for rough matched pairs using Hough transform
Xie Liang, Chen Shu, Zhang Jun, Tian Jinwen 1017

Image Analysis and Recognition

- Natural image segmentation method based on Gestalt rules
Zeng Jiexian, Wang Yu 1026
- Variational image segmentation incorporating Kernel PCA-based shape priors
Yang Jiangong, Wang Xili, Li Hu 1035
- Image segmentation based on the fast iteration for two-dimensional gray entropy threshold selection
Wu Shihua, Wu Yiquan, Zhou Jianjiang, Meng Tianliang, Dai Yimian 1042
- Underwater man-made object localization based on line feature of image and surface feature of point cloud
Xie Zexiao, Pan Chengcheng, Chi Shukai, Wei Zheng 1051
- Coal pile location and recognition method based on entropy energy
Yuan Heng, Wang Zhihong, Jiang Wentao 1062
- Spatio-temporal motion saliency for object tracking
Xie Zhao, Liu Yumin, Zhang Jun, Duan Shilei 1070
- Image target saliency detection by combining the global consistency and local difference
Zhang Xiaoxiang, Ma Runing 1083
- Texture classification based on Radon-empirical mode decomposition analysis
Xu Zhuofei, Zhang Haiyan, Liu Kai, Hou Heping, Xu Qianqian, Li Lifeng 1091

Remote Sensing Image Processing

- Lossless distributed source coding of hyperspectral images based on quadtree segmentation
Wang Xianghai, Zhang Zhidi, Song Chuanming 1102
- Estimation research for fractal dimension of color remote sensing image based on manifold learning
Wang Hongbo, Luo He, Wang Xiaojia 1110
- Bosten Lake surface area changes analysis using long temporal Landsat image series
Sun Aimin, Feng Zhongkui, Ge Xiaoqing, Luo Yu, Li Shanshan, Yan Fang, Feng Xuxiang 1122

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)08-1062-08

论文引用格式: Yuan H, Wang Z H, Jiang W T. Coal pile location and recognition method based on entropy energy[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(8): 1062-1069. [袁姮, 王志宏, 姜文涛. 熵能量堆煤图像的定位与识别[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(8): 1062-1069.] [DOI: 10.11834/jig.20150809]

熵能量堆煤图像的定位与识别

袁姮¹, 王志宏¹, 姜文涛²

1. 辽宁工程技术大学工商管理学院, 葫芦岛 125105; 2. 辽宁工程技术大学软件学院, 葫芦岛 125105

摘要: **目的** 针对煤矿皮带堆煤传感器受复杂环境干扰导致检测效率较低的问题, 提出一种新的基于熵能量(EE)的堆煤图像定位与识别方法。**方法** 该方法首先在堆煤图像初始化区域内设定采样单元, 统计采样单元前景和背景区域的信息熵, 计算信息熵分布的极大值所对应的灰度阶并统计其出现的概率; 然后计算采样单元的熵能量和能量频率, 归一化频率系数, 并利用能量频率的二阶偏导确定堆煤边缘区域, 将采样单元移动至堆煤边缘处; 最后, 根据采样单元的坐标位置计算堆煤高度和半径, 进行实时预警。**结果** 在煤矿井下皮带堆煤视频上进行算法测试, 该算法的单帧图像平均处理速度为 0.35 s/帧, 堆煤事故预警时间间隔最大为 0.35 s, 平均识别准确率为 97.1%, 测试结果表明, 该方法对堆煤模糊边缘、环境噪音具有抗干扰特点, 可以有效克服强噪音、模糊边缘等因素对堆煤识别的影响。**结论** 该方法对复杂环境中堆煤定位与识别具有很好的实时性和准确性, 对提高煤矿安全生产效率具有重要意义。

关键词: 堆煤图像; 熵能量; 采样单元; 能量频率

Coal pile location and recognition method based on entropy energy

Yuan Heng¹, Wang Zhihong¹, Jiang Wentao²

1. College of Business and Management, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China;

2. College of Software, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China

Abstract: Objective A novel approach to coal pile location and recognition, which is based on entropy energy, is proposed in this paper to solve interference problems in a complex environment, which inhibit detection efficiency in coal mines.

Method First, continuous information sampling units are scattered in the image, and the distribution area and gray levels of the larger probability density in the sampling unit are determined. All energy frequencies of the sampling unit are then calculated, the weakest of which is removed by filtration, and the edge of coal pile is calculated by second-order partial derivatives. The sampling unit is moved to the edge of the coal pile. Finally, the early warning based on the coal pile height and radius is ready for the upper limit, which is calculated according to the sampling unit.

Result The average processing speed of the single image is 0.35 seconds per frame, the maximum of coal accident warning time interval is 0.35 seconds, and the average recognition accuracy is 97.1 percent, which is the method text results on the coal pile videos of coal mines. Experiments show that. This method can overcome the effects of noise and blurred image on the recognition of coal pile by taking advantage of the ability of entropy energy to identify a fuzzy edge and its resistance to environmental noise. **Conclusion** Experiments show that the proposed approach has good adaptability to coal pile location and recognition, and is of significant and

收稿日期: 2015-02-16; 修回日期: 2015-04-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(61172144); 辽宁省科技攻关计划项目(2012216026)

第一作者简介: 袁姮(1988—), 女, 辽宁工程技术大学管理科学与工程专业博士研究生, 主要研究方向为信息管理与信息系统、人工智能。E-mail: hengheng226@sina.com

Supported by: National Natural Science Foundation of China (61172144)

practical value to improve the efficiency and safety of coal mine production.

Key words: coal pile image; entropy energy; sampling unit; energy frequency

0 引言

煤炭作为一种重要的能源和原料,在我国经济发展战略中具有重要的地位^[1-3]。煤炭安全生产作为煤炭行业发展的基本原则,其生产装备的自动化和智能化建设已逐步成为目前国内外煤炭智能装备制造领域的研究热点。近年来随着我国煤炭行业的不断发展,大运输量的皮带传送装备已经广泛应用于各大中小型矿井生产当中^[4-5],如何对皮带落煤点处的堆煤进行实时准确地定位与识别,预防堆煤事故的发生,已逐渐成为保障煤炭安全生产、提高煤炭企业生产效率的关键问题之一。

目前,国内外在皮带堆煤预警方面主要采用电极式矿用堆煤传感器进行堆煤识别,采用探头与物料的导通电阻构造闭合回路进行堆煤识别^[6]。现有堆煤传感器属于接触式信号检测的工作方式,存在以下不足:1)当传感器周围环境较为潮湿时,传感器容易发生短路,错误识别为堆煤;2)当煤块颗粒较大时,容易误碰传感器导通电路,错误识别为堆煤;3)当传感器内部故障或者探头静电导通电路,也会错误识别为堆煤。

为了克服上述问题,国内外专家学者提出根据不同环境、不同颗粒大小采用倾斜式开关和阻旋开关来降低堆煤误识率,虽然在一定程度上解决了问题,但是接触式传感器工作原理自身存在的弊端依然不能从根本上进行有效解决。

近年来,计算机视觉以无接触、精确度高、准确性好、实时性强等优点逐步应用于工业自动识别领域,尤其在重复性强、危险程度高等不宜人工操作的环境下具有突出优点。目前就已搜集到的相关资料显示,国内外在煤矿环境分析、安全监控、井下智能装备领域采用计算机视觉处理和解决问题正在逐步兴起,如张谢华等人^[7]提出的井下图像去雾除尘与同步去噪算法,根据图像退化模型构造目标函数实现了较好的视频监控效果,孙继平等人^[8]提出了适用于 Poisson 噪声污染的低照度激光光斑图像的快速去噪算法,在井下激光三角测距中取得了较好的实际应用效果。可以看出利用工业摄像机和计算机结合的工作方式对井下环

境、人员及设备进行实时准确的定位、分析和判断可以很好地降低人力和物力成本,提高煤矿安全系数。

如果在煤矿皮带堆煤检测方面采用计算机视觉进行处理,将对克服堆煤传感器的不足、提高煤矿安全生产效率具有重要研究意义和应用价值。机器视觉技术应用于矿井环境存在以下难点:1)井下环境恶劣,干扰噪音较强,图像噪声较多且呈不规则分布状态;2)皮带落煤点周围存在大量雾状粉尘,使图像中堆煤边缘较为模糊;3)现有图像去噪方法和模糊边缘检测方法对噪声分布均匀以及模糊程度较低的图像具有较好的效果^[9-11],但对于矿井复杂环境下的堆煤图像处理与识别效果欠佳。

研究发现,信息熵作为离散随机信息的出现概率,可以有效计算图像信息分布情况,而灰度能量可以有效加强相似灰度信息的差别,若能够将两者结合起来,实现既能在随机概率事件中体现出个体信息差异,又能在个体差异中体现出多种随机概率事件的分布规律,将对克服井下随机强噪音的影响和堆煤模糊边缘的有效提取具有重要的意义。基于此,提出一种熵能量(EE)模型,并应用到堆煤定位与识别中。

熵能量方法是建立在子空间分析的整体框架之上,利用熵能量的能量频率分布来确定堆煤边缘,可以有效克服强噪音、模糊边缘对堆煤图像的干扰,实现堆煤事故实时准确预警。

1 熵能量模型构建

在堆煤图像内设定 N 个连续均匀分布的圆形区域,将这些圆形区域称为采样单元(SU),记为 $U_{x,y,r}^n$,采样单元集合为

$$A = (U^1, U^2, \dots, U^N) \quad (1)$$

式中, x, y 为采样单元的中心坐标, r 为半径, n 为标号, $0 \leq n \leq N$ 。采样单元包含堆煤前景信息及部分背景信息,如图1中圆形区域所示。

在堆煤图像中,采样单元包含堆煤前景信息 F 和背景信息 B ,将其前景信息熵记为 ζ^F 、背景信息熵记为 ζ^B ,假设采样单元前景区域内熵的数量为 τ ,背景区域熵的数量为 σ ,则 $\zeta^F \in [\zeta_1^F, \zeta_2^F, \dots, \zeta_\tau^F]$, $\zeta^B \in [\zeta_1^B, \zeta_2^B, \dots, \zeta_\sigma^B]$ 。

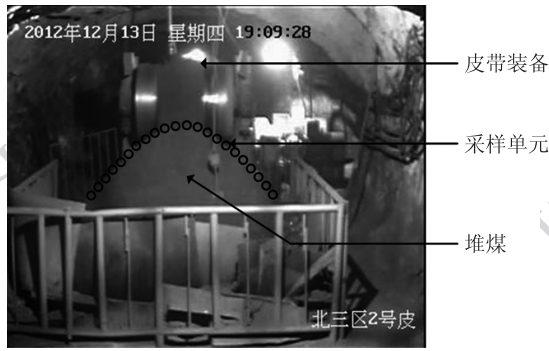


图1 采样单元示意图

Fig. 1 Schematic of sampling unit

将前景信息熵分布的极大值所对应的灰度阶记为 A^F , 背景信息熵分布的极大值所对应的灰度阶记为 A^B , ρ_λ 为 A^F 出现的概率, ρ_κ 为 A^B 出现的概率, λ, κ 分别为 $\rho_\lambda, \rho_\kappa$ 概率分布对应熵的数量, 则将 ζ_λ^F 称为采样单元前景区域的显著信息熵, ζ_κ^B 为采样单元背景区域的显著信息熵, 即 $\zeta_\lambda^F = A^F \rho_\lambda \log_2 \rho_\lambda$, $\zeta_\kappa^B = A^B \rho_\kappa \log_2 \rho_\kappa$ 。

将采样单元的显著信息熵与单位灰度能量的乘积称为 SU 的熵能量 (EE), 记为

$$EE^{B|F} = \gamma(E, S) \sum_{\kappa=1}^{\kappa|\lambda} (\zeta_{\kappa|\lambda}^{B|F})^2 \quad (2)$$

式中, $B|F$ 指背景 B 或前景 F , $\zeta_\lambda^F, \zeta_\kappa^B$ 分别为前景显著信息熵和背景显著信息熵, $\gamma(E, S)$ 为 SU 的单位灰度能量, E 为 SU 的灰度能量, 即 $E(x, y) = \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y G(x, y)^2$, $G(x, y)$ 为坐标 (x, y) 处的灰度值, S 为 SU 的几何面积, 即 $S = \pi r^2$, 则 $\gamma(E, S) = \frac{E(x, y)}{S}$ 。

熵能量可以有效提取和判别采样单元内部信息的类别及分布情况, 由于 ζ_λ^F 与 ζ_κ^B 的概率分布集合中存在多个概率值, 熵能量 $EE^{B|F}$ 的函数波形走向呈不规则曲线状态。熵能量函数波形如图 2 所示, 其中 U^3 和 U^{16} 分别表示图 1 中从左至右的第 3 号和第 16 号采样单元的放大效果及其波形图。

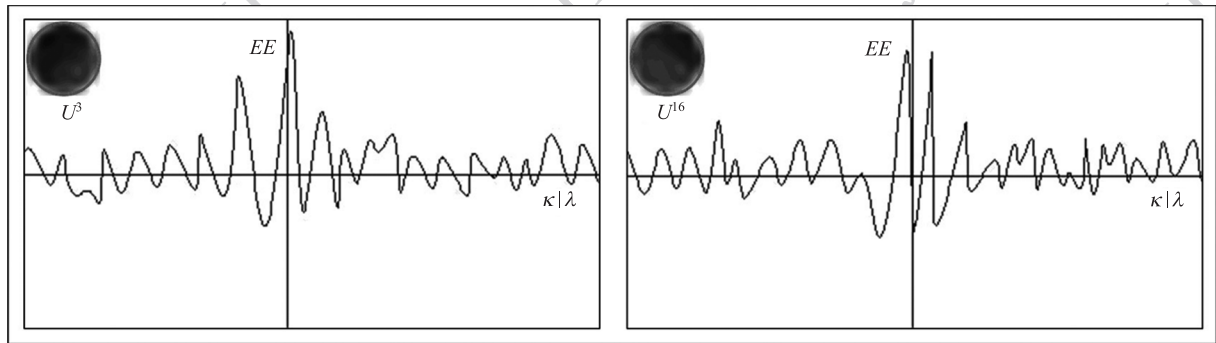


图2 熵能量波形图

Fig. 2 Entropy energy waveforms

为了提取 SU 内前景区域和背景区域的频率信息, 对熵能量 $EE^{B|F}$ 进行 2 维核变换和滤波处理。对熵能量 $EE^{B|F}$ 进行 2 维核变换, 得到 SU 的能量频率 (EF), 记为

$$P^{B|F}(u, v, t) = \int_0^\kappa \int_0^\lambda EE^{B|F} e^{j2\pi(u\kappa/v\lambda + v\gamma/\lambda)t} dx dy dt \quad (3)$$

化简得

$$P^{B|F}(u, v, t) = EE^{B|F} \kappa\lambda / 4\pi^2 uvt \times [e^{j2\pi t(u\lambda/\kappa + v\kappa/\lambda)} + e^{j2\pi t u\lambda/\kappa} + e^{j2\pi t v\kappa/\lambda} + 1] \quad (4)$$

式中, $B|F$ 指背景 B 或前景 F , P^F 为前景能量频率, P^B 为背景能量频率, $e^{j2\pi t(u\lambda/\kappa + v\kappa/\lambda)t}$ 为 2 维变换核, $e^{j2\pi t(u\lambda/\kappa + v\kappa/\lambda)} + e^{j2\pi t u\lambda/\kappa} + e^{j2\pi t v\kappa/\lambda} + 1$ 称为能量频率变

换核的组合, $EE^{B|F} \kappa\lambda / 4\pi^2 uvt$ 为变换系数。

由图 2 可以看出, 熵能量是围绕在堆煤图像边缘处的离散波动效应, 若将能量频率的变换系数归一化, 可以有效滤除井下噪音和杂波干扰, 并降低计算复杂度、提高堆煤图像能量频率提取的准确性。归一化操作定义为

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |EE^{B|F} \kappa\lambda / 4\pi^2 uvt|^2 dt = 1 \quad (5)$$

堆煤高度变化过程中, 通过提取和分析堆煤图像边缘处的熵能量信息, 可以有效确定堆煤的边缘位置。由数学理论知, 函数二阶偏导的物理意义是加速度变化快慢的量, 而加速度是瞬时速度的变化量, 因此, 能量频率瞬时变化的快慢表达了图像边缘

梯度信息变化的剧烈程度,可以通过计算能量频率的二阶偏导来确定堆煤边缘区域 $R(x,y)$, 则

$$R(x,y) = \frac{\partial^2}{\partial u^2} P + \frac{\partial^2}{\partial v^2} P + \frac{\partial^2}{\partial u \partial v} P + \frac{\partial^2}{\partial v \partial u} P \quad (6)$$

由微分性质及式(3)知,函数 P 在 (u,v) 处可微分,则

$$\frac{\partial p}{\partial T} = \frac{\partial p}{\partial u} \cos \theta + \frac{\partial p}{\partial v} \sin \theta \quad (7)$$

式中, T 为相邻极值间的向量,因此堆煤边缘区域为

$$R(x,y) = \frac{\partial^2}{\partial u^2} p \cos^2 \theta + \frac{\partial^2}{\partial v^2} p \sin^2 \theta + \left(\frac{\partial^2}{\partial u \partial v} p + \frac{\partial^2}{\partial v \partial u} p \right) \cos \theta \sin \theta \quad (8)$$

令 θ 取值 $0, \pi/6, \pi/3, \pi/2, 2\pi/3, 5\pi/6$, T 和 θ 如图3所示。

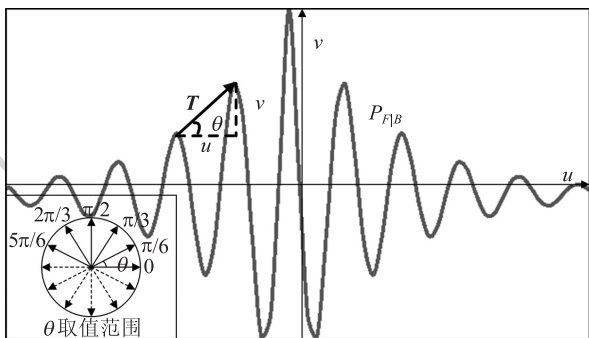


图3 T 和 θ 示意图

Fig. 3 Schematic of T and θ

图2中采样单元 U^3 和 U^{16} 经式(6)~(8)计算,所确定的堆煤边缘效果如图4所示。

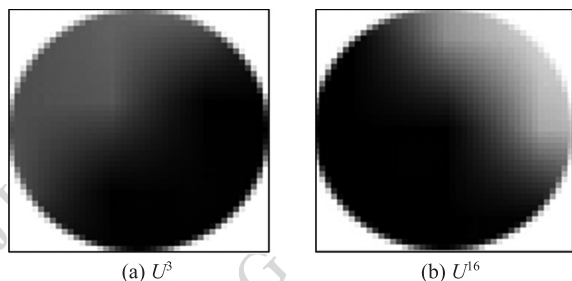


图4 堆煤边缘

Fig. 4 Edge of coal pile

2 堆煤识别与预警过程

2.1 堆煤初始化

1) 在待识别堆煤图像中选定堆煤前景区域和背景区域,如图5所示;2) 统计前景区域与背景区

域的观测值。

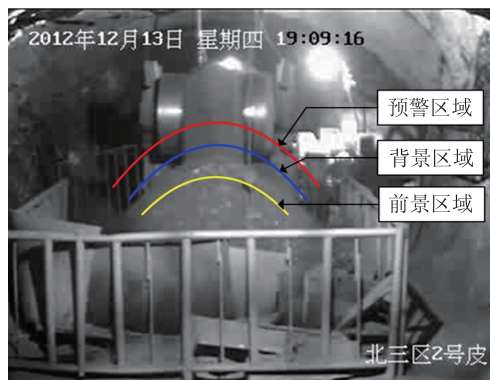


图5 堆煤初始化

Fig. 5 Coal pile initialization

2.2 能量频率计算

1) 在堆煤初始化区域内设定采样单元 SU , 由于本文应用环境中堆煤边缘模糊范围约为4个像素, 因此将采样单元的半径 r 设为8个像素; 2) 统计采样单元内前景信息熵 ζ^F 和背景信息熵 ζ^B , 计算前景信息熵分布的极大值所对应的灰度阶 A^F 和背景信息熵分布的极大值所对应的灰度阶 A^B ; 3) 统计 A^F 和 A^B 出现的概率 ρ_A, ρ_B , 计算 SU 的熵能量 $EE^{B|F}$ (见式(2)); 4) 计算 SU 的能量频率 EF , 将能量频率系数归一化, 滤除噪音和杂波干扰 (见式(5))。

2.3 堆煤边缘识别

1) 计算能量频率的二阶偏导, 确定堆煤边缘区域 $R(x,y)$ (见式(6)~(8)); 2) 判断采样单元内部的边缘提取结果, 如果采样单元内部存在二值化区域, 则判定该采样单元为有效采样单元 (图6(a)), 如果不存在二值化区域, 则判定为无效采样单元 (图6(b)); 3) 若有效采样单元的数量小于3



(a) 有效采样单元



(b) 无效采样单元

图6 采样单元的有效性判别

Fig. 6 Judgement of sampling unit effectiveness

个,则重新设定采样单元,若有效采样单元的数量大于等于3个,则转至4);4)将所有采样单元中心进行连接,并将连接线经过的像素灰度设置为255,以此将分散的堆煤边缘拟合成连通区域,并对连通区域进行适当的增强,凸显堆煤边缘,增强算子如图7所示,边缘拟合及增强过程如图8所示;5)保留堆煤边缘处的采样单元,删除其他区域的采样单元,计算采样单元几何中心 $o(X,Y)$ 到堆煤边缘几何中心 $o'(X',Y')$ 的向量 δ ;6)将采样单

元经向量 δ 移动至堆煤边缘,移动过程如图9所示。

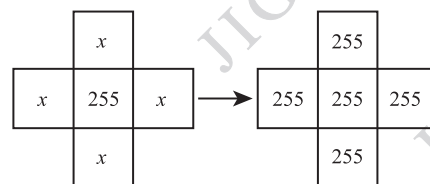


图7 堆煤边缘增强算子

Fig. 7 Coal pile edge enhancement operator

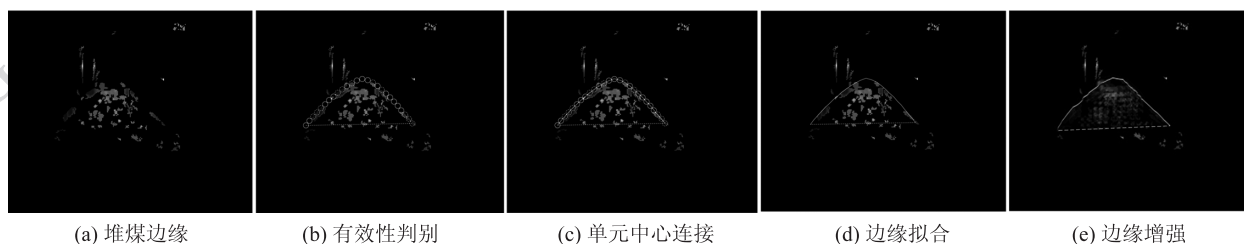


图8 边缘拟合及增强

Fig. 8 Edge fitting and enhancement



图9 采样单元移动过程示意图

Fig. 9 Schematic of sampling unit moving process

2.4 堆煤计算与预警

1)根据采样单元的坐标位置,计算堆煤的平均高度和半径;2)将堆煤的高度和半径与预警值进行对比,若达到预警值则进行预警,若没有达到,则以当前帧的堆煤识别结果作为下一帧图像中堆煤定位的参考值,重新设定采样单元,循环执行。堆煤实际区域与预警区域如图10所示。

3 实验结果与分析

本文方法在 VC6.0 环境下采用 C++ 语言编程实现,计算机配置为 Pentium 3.06 GHz CPU,1 GB 内存,选用某煤矿井下皮带堆煤视频数据对算法进行测试,井下现场中摄像机俯角为 21° ,成像焦点与堆煤中心水平距离约3.7 m,采集视频数据共20组,每组包括1217帧灰度图像,图像分辨率为 352×288

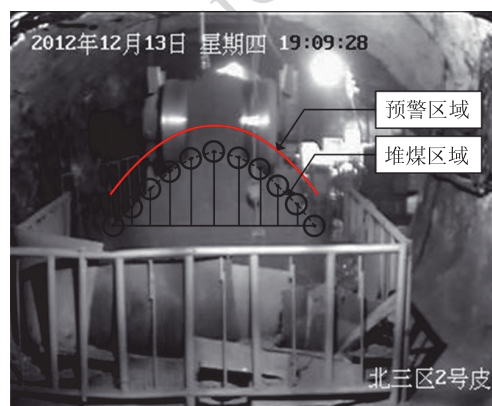


图10 堆煤预警示意图

Fig. 10 Schematic of coal pile warning

像素,灰度级为256。

原视频受井下随机强噪声和落煤点周围大量粉尘的影响,堆煤边缘模糊,如图11(a)所示,经本文方法处理后,提取的堆煤边缘轮廓清晰,噪音干扰较小,有效地抑制了堆煤相似背景信息的干扰,堆煤前景信息得到明显增强,提取后的堆煤图像与原始视频中的堆煤图像吻合程度较高,因此,本文方法对井下环境中的堆煤识别具有较强的实用性和准确性。

为了进一步验证本文算法识别效果,分别从堆煤高度误差 H-e、半径误差 R-e、单帧识别时间 T-c、自然识别准确率 Nra 以及加噪声识别准确率 Pra 等

5个评价指标对本文方法进行测试分析,其中加噪声识别准确率是对原始视频图像进行加噪声处理之后的识别准确率,以便检验本文方法对井下复杂噪声环境的鲁棒性。堆煤图像加噪声及边缘识别过程如图12所示,图12(a)是煤矿井下皮带落煤点处的堆煤图像,图像受井下强噪音干扰和落煤点周围空气中的粉尘干扰,使得图像中堆煤前景信息与背景信息呈现模糊连接效果,边缘对比强度减弱,图12

(b)是对原始图像加高斯噪声的结果,图12(c)是进行能量频率计算的结果,滤除了井下噪音干扰,图12(d)是对能量频率进行二阶偏导计算后的边缘识别结果,然后采用边缘拟合及增强操作,强化了边缘对比度,滤除粉尘干扰。由于高斯噪声存在较强的边缘锯齿效果,使得堆煤边缘的细节提取存在一定误差,从图12(d)提取的堆煤结果来看,本文方法对加性高斯噪声的去除具有明显的优势。

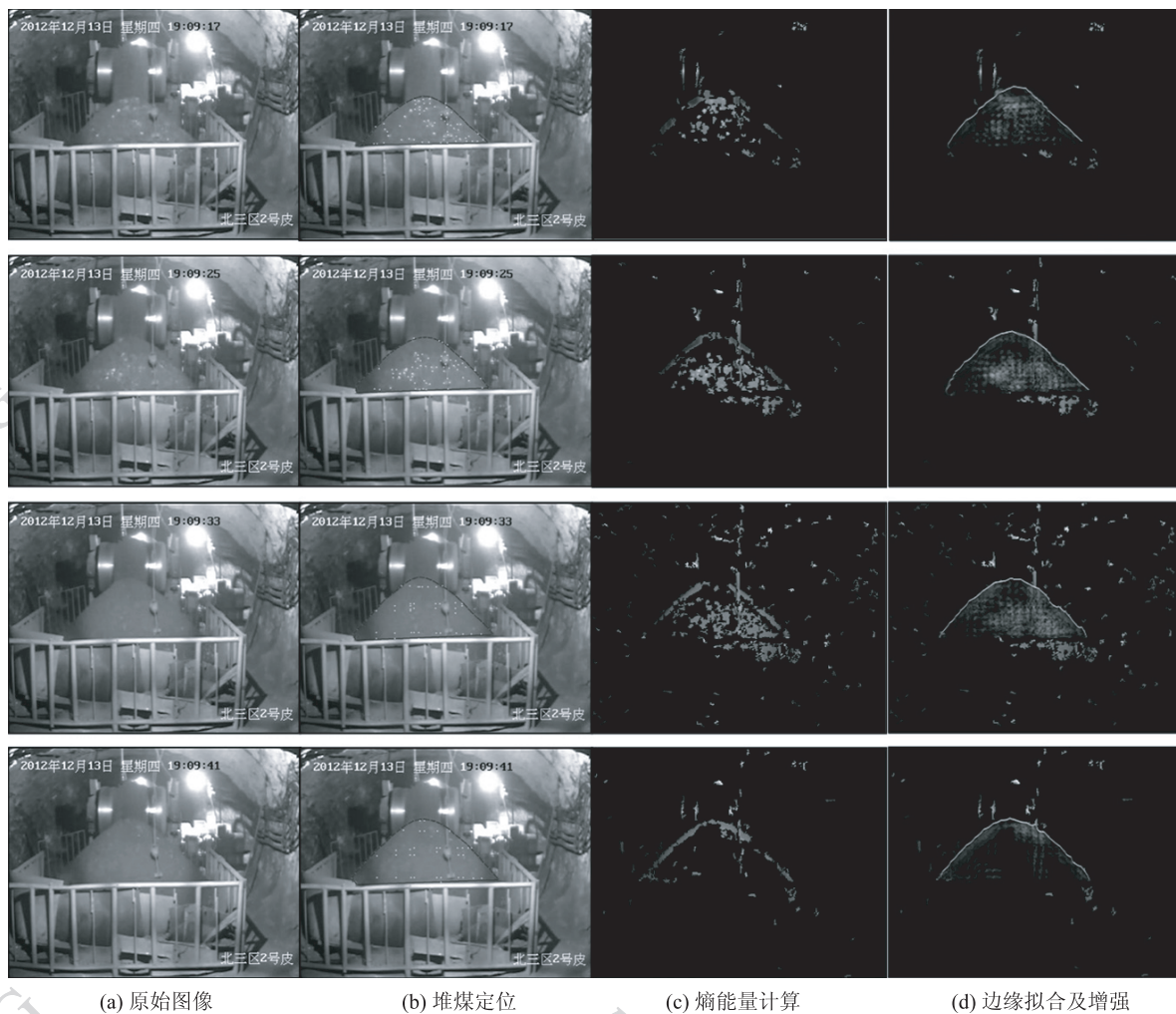


图11 连续时间下的堆煤识别过程

Fig. 11 The process of coal pile recognition on continuous time

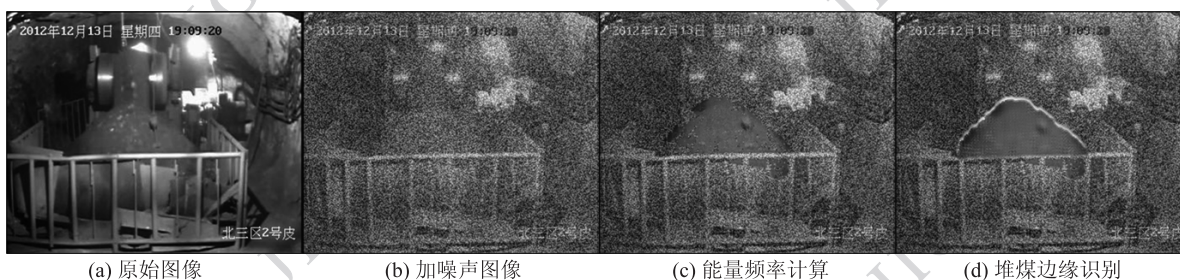


图12 堆煤图像加噪声及识别过程

Fig. 12 The process of plus-noise and recognition with coal pile image

20 组视频的实验测试数据如表 1 所示,其中每组实验均反复进行 10 次,取均值作为实验结果。对表 1 测试结果中时间一项进行均值计算得出,单帧图像处理速度平均为 0.345 s,即 0.35 s/帧,堆煤事故预警时间间隔最大为 0.35 s。

将本文方法与文献[12]提出的基于背景差分的堆煤检测方法相比较,本文方法在识别速度上具有较强的优势,如表 2 所示,可以满足对井下堆煤事故实时预警的需求。

对表 1 中堆煤高度误差和半径误差进行均值计

算,平均高度误差为 4 像素宽度,约 4.2 cm,平均半径误差略低于 4 像素宽度,约 4.1 cm,可以看出本文方法的识别精度较高,可以很好地提取堆煤边缘变化的细节信息。对表 1 中原始图像识别准确率一项进行均值计算得出,该算法自然识别准确率平均为 97.1%。对原始图像加高斯噪声后的识别准确率一项进行均值计算得出,加噪声识别准确率平均为 92.2%,仅低于自然识别准确率 4.7%,说明本文识别方法对煤矿井下堆煤的模糊边缘和环境噪音具有较强的抗干扰性和很好的鲁棒性能。

表 1 实验测试数据
Table 1 Experimental data

组号	H-e	R-e	T-c/s	Nra/%	Pra/%	组号	H-e	R-e	T-c/s	Nra/%	Pra/%
1	3.51	3.16	0.35	0.967	0.916	11	2.15	3.94	0.36	0.959	0.910
2	4.57	3.81	0.35	0.973	0.925	12	5.79	1.34	0.33	0.974	0.937
3	5.01	3.73	0.34	0.979	0.913	13	4.26	3.25	0.35	0.975	0.938
4	6.03	6.35	0.35	0.977	0.924	14	4.22	4.13	0.35	0.956	0.904
5	4.43	5.10	0.33	0.980	0.927	15	2.57	3.18	0.38	0.983	0.934
6	3.91	4.96	0.31	0.974	0.903	16	5.96	3.79	0.33	0.964	0.917
7	2.83	3.65	0.36	0.976	0.930	17	2.98	3.44	0.31	0.968	0.912
8	3.48	5.83	0.32	0.961	0.914	18	3.07	3.85	0.35	0.984	0.933
9	4.70	3.77	0.35	0.958	0.919	19	4.77	3.60	0.32	0.968	0.931
10	2.84	5.42	0.33	0.970	0.931	20	3.28	5.12	0.33	0.962	0.915

表 2 对比结果
Table 2 Comparison result

参数	文献[12]方法	本文方法
识别准确率/%	0.96	0.97
反应时间/s	0.6	0.35

4 结 论

本文提出了一种新的基于熵能量的堆煤定位与识别方法,本文方法可以有效克服堆煤传感器易受潮湿环境影响、误碰导致错误识别等不足之处,可以有效替代堆煤传感器,提高煤矿安全生产效率。

实验结果表明,在井下复杂环境的噪音干扰下,熵能量方法识别堆煤模糊边缘具有较好的识别效果,识别误差较低,准确率为 97.1%,算法执行速度

为 0.35 s,在煤矿井下皮带堆煤识别方面具有较高的应用价值,可以很好的满足井下皮带堆煤检测的实际应用需求。

本文提出的熵能量等相关模型和识别方法不仅对井下皮带堆煤识别有效,而且对井下远距离模糊目标图像的识别也具有普遍意义,为井下特定目标图像的识别提供了新的思路。本文方法在皮带落煤点处出现大体积煤块干扰时,会因丢失部分采样单元信息而产生检测无效的情况,因此今后将针对皮带落煤点处大体积煤块对堆煤边缘的干扰做进一步研究。

参考文献 (References)

[1] Sun J P. Research on coal-mine safe production conception [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(2): 313-316. [孙继平. 煤矿安全生产理念研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(2):

- 313-316.]
- [2] Sun J P. Research on characteristics and key technology in coal mine internet of things [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(1):167-171. [孙继平. 煤矿物联网特点与关键技术研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(1):167-171.]
- [3] Sun J P. Technologies of monitoring and communication in the coal mine [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11):1925-1929. [孙继平. 煤矿安全生产监控与通信技术[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11):1925-1929.]
- [4] Pan Y S, Xiao Y H, Li Z H, et al. Study of tunnel support theory of rockburst in coal mine and its application [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(2):222-228. [潘一山, 肖永惠, 李忠华, 等. 冲击地压矿井巷道支护理论及应用[J]. 煤炭学报, 2014, 39(2):222-228.]
- [5] Jiang Y D, Pan Y S, Jiang F X, et al. State of the art review on mechanism and prevention of coal bumps in China [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(2):205-213. [姜耀东, 潘一山, 姜福兴, 等. 我国煤炭开采中的冲击地压机理和防治[J]. 煤炭学报, 2014, 39(2):205-213.]
- [6] Cao J, Guo Z T, Li J J, et al. Modification and practice on location arrangement of coal electrode type coal pile sensor [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(7):107-109. [曹剑, 郭振涛, 李静静, 等. 煤电极式堆煤传感器布置改造实践[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(7):107-109.]
- [7] Zhang X H, Zhang S, Fang S, et al. Clearing research on fog and dust images in coal mine [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(1):198-204. [张谢华, 张申, 方帅, 等. 煤矿智能视频监控中雾尘图像的清晰化研究[J]. 煤炭学报, 2014, 39(1):198-204.]
- [8] Sun J P, Jiang J. PURE-LET-based fast denoising algorithm for laser spot imagery [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(9):1710-1714. [孙继平, 江静. 基于PURE-LET的激光光斑图像快速去噪算法[J]. 煤炭学报, 2013, 38(9):1710-1714.]
- [9] Sun J P, She J. Coal-rock image feature extraction and recognition based on support vector machine [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(2):508-512. [孙继平, 余杰. 基于支持向量机的煤岩图像特征抽取与分类识别[J]. 煤炭学报, 2013, 38(2):508-512.]
- [10] Sun J P, Chen W, Wang F Z, et al. Application of probabilistic neural network in recognizing coal mine in frared monitoring images [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(11):1206-1210. [孙继平, 陈伟, 王福增, 等. 概率神经网络在矿井红外监控图像识别中的应用[J]. 煤炭学报, 2007, 32(11):1206-1210.]
- [11] Sun J P, She J. Wavelet-based coal-rock image feature extraction and recognition [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(10):1900-1904. [孙继平, 余杰. 基于小波的煤岩图像特征抽取与识别[J]. 煤炭学报, 2013, 38(10):1900-1904.]
- [12] Xie W Z, Xu H, Liu D. Coal pile detection based on image processing [J]. Electronics World, 2014, 7: 83-84. [谢文治, 徐辉, 刘冬. 基于图像处理的皮带堆煤检测研究[J]. 电子世界, 2014, 7: 83-84.]