

文章编号:1671-251X(2018)07-0006-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018010005

连续采煤机人员监测保护系统设计

黄利民¹, 刘旭东¹, 曹连民², 燕明伟²

(1. 陕西煤业化工集团有限责任公司 神南产业发展有限公司, 陕西 榆林 719300;

2. 山东科技大学 机械电子工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:针对连续采煤机后部输送机在工作过程中存在误伤行人的安全隐患,设计了一种基于红外热成像技术的连续采煤机人员监测保护系统。首先利用长波红外探头对连续采煤机后部输送机监测敏感区域进行监测,实时采集监测敏感区域内红外影像信息;然后利用微处理机对采集的红外影像信息进行实时性处理,并对行人进行检测,当检测到有行人进入到监测敏感区域时,在1 s内快速判断行人信息,触发预警保护策略,当行人退出监测敏感区域后,预警保护机制自动停止,当行人越过监测敏感区域时,微处理机触发紧急停车控制策略,使连续采煤机后部输送机紧急停车,保护越界行人的安全。现场测试结果表明,该系统稳定、可靠,识别精度高,能够实现对连续采煤机后部输送机左前方1~2 m范围内的行人进行有效监测,保证了连续采煤机附近人员的生命安全。

关键词:煤炭开采;连续采煤机;输送机;行人检测;敏感区域;红外热成像;预警保护

中图分类号:TD431 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180615.0909.002.html>

Design of pedestrian monitoring and protection system of continuous shearer

HUANG Limin¹, LIU Xudong¹, CAO Lianmin², YAN Mingwei²

(1. Shennan Industry Development Co., Ltd., Shaanxi Coal Chemical Industry Group Co., Ltd.,

Yulin 719300, China; 2. College of Mechanical and Electronic Engineering,

Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: In view of potential safety hazards of accidentally injuring pedestrians during operation process of conveyor at the back of continuous shearer, a pedestrian monitoring and protection system of continuous shearer based on infrared thermal imaging was designed. Firstly, long-wave infrared probe was used to monitor sensitive areas of the conveyor at the back of continuous shearer and real-timely collect infrared image information in the sensitive areas. Then, microprocessor was used to process the infrared image information, and pedestrians were detected; when pedestrians were detected entering the sensitive area, the pedestrian information would be rapidly judged by microprocessor within 1 s, meanwhile an early warning protection strategy would be triggered; when the pedestrians exited the sensitive area, the early warning protection mechanism would stop automatically; when the pedestrians passed over the sensitive area, at that time, an emergency stop control strategy would be triggered by microprocessor, so as to make the conveyor at the back of continuous shearer stop urgently to protect safety of crossing pedestrians. The site test results show that the system is stable and reliable with high recognition

收稿日期:2018-01-03;修回日期:2018-05-30;责任编辑:张强。

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR201709220253)。

作者简介:黄利民(1972—),男,广东饶平人,工程师,主要研究方向为矿山机械,E-mail:770391846@qq.com。

引用格式:黄利民,刘旭东,曹连民,等.连续采煤机人员监测保护系统设计[J].工矿自动化,2018,44(7):6-11.

HUANG Limin, LIU Xudong, CAO Lianmin, et al. Design of pedestrian monitoring and protection system of continuous shearer [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(7): 6-11.

accuracy, and can effectively monitor pedestrians within the range of 1 to 2 meters on the front left area of the conveyor at the back of the continuous shearer, which effectively guaranteed life safety of pedestrians nearby the continuous shearer.

Key words: coal mining; continuous shearer; conveyor; pedestrian detection; sensitive areas; infrared thermal imaging; early warning protection

0 引言

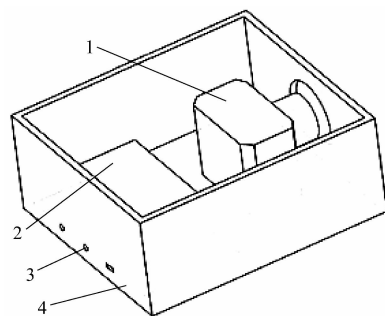
连续采煤机是集截割、装运和行走于一体的大型连续采掘一体化设备,既可以用来开掘以煤为基岩的巷道,又可作为单独的采煤机使用,尤其适用于中厚煤层,在我国煤层地质条件较好的矿井中得到了有效应用。在连续采煤机工作过程中,后部输送机经常上下升降、左右摆动,由于井下巷道狭窄,若此时有人员进入输送机摆动区域,会因为躲避不及时,造成人员伤亡事故,存在着较大的安全隐患。目前通常的做法是在连续采煤机附近设置警戒线,但是由于受井下人员的精力或责任心的影响,这种方法具有随意性、不可控性,极有可能造成其他人员误入警戒范围,造成不堪设想的后果^[1-3]。目前国内很多学者、研究院针对连续采煤机后部输送机误伤行人这一问题进行了研究。包建军^[4]介绍了一种接近探测装置,该装置将设备所处区域划分为停机区域、警告区域和操作区域,自动探测作业人员所处位置,并做出相应处理。赵岩等^[5]提出了一种输送机机头人体红外保护系统,实现了输送机机头部位的本质安全。尽管上述研究成果在一定程度上能够有效保证设备附近行人的生命安全,但是在煤矿井下现场实际情况中,为了提高巷道掘进效率,往往只对最危险区域进行监测,监测区域不全面。为了实现对连续采煤机后部输送机附近人员进行实时监护,本文采用红外热成像技术,设计了一种连续采煤机人员监测保护系统,以消除连续采煤机后部输送机在工作过程中误伤行人的安全隐患。

1 系统设计

1.1 系统结构设计

连续采煤机人员监测保护系统主要由长波红外探头、微处理机和防爆报警灯组成。长波红外探头主要用于对监测敏感区域进行红外影像信息采集;微处理机主要用于对长波红外探头采集的红外影像信息进行实时性处理,对行人进行检测,并控制预警保护策略的触发;防爆报警灯用于对监测敏感区域内行人进行警示与提醒。同时,为了便于系统安装

调试,系统采用一体化集成封装设计,将长波红外探头和微处理机集成封装于防爆壳体中,对外预留3路接口,便于后期兼容扩展,系统集成封装结构如图1所示。



1—长波红外探头;2—微处理机;3—对外预留接口;
4—防爆壳体

图1 连续采煤机人员监测保护系统集成封装结构

Fig.1 Integrated encapsulation structure of pedestrian monitoring and protection system of continuous shearer

根据红外热辐射特性,人体是一个热源,有恒定的体温,通过维恩位移定律得

$$\lambda_m T = b$$

式中: λ_m 为红外线波长,m; T 为人体温度,一般为 $36\sim 37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,即 $309\sim 310.5\text{ K}$; b 为维恩常量, $b=0.002\ 897\text{ m}\cdot\text{K}$ 。

将数据代入式(1),可得人体产生的红外波长 λ_m 为 $9.33\sim 9.37\text{ }\mu\text{m}$ 。

根据人体产生红外波这一特性,并综合考虑连续采煤机后部输送机工作特点,经过现场调研及方案论证,最终确定系统设计采用长波红外热成像技术,选用长波红外探头对连续采煤机后部输送机左前方 $1\sim 2\text{ m}$ 范围内(监测敏感区域)的行人进行监测,实时采集监测敏感区域内红外影像信息,当有行人进入到探头所覆盖的监测敏感区域时,探头将采集的红外影像信息传送到微处理机,微处理机对其进行行人检测,在 1 s 内快速判断行人存在信息,并触发预警保护机制,不影响连续采煤机正常使用;当行人退出监测敏感区域后,预警保护机制自动停止;当行人越过监测敏感区域时,微处理机触发紧急停车控制策略,使连续采煤机后部输送机紧急停车,保

护越界行人安全。

1.2 系统界面设计

连续采煤机人员监测保护系统设计采用 Microsoft Visual Studio 2010 和 OpenCV 搭建开发平台,通过后续的行人检测处理算法,实现对连续采煤机后部输送机左前方监测区域内的行人进行可视化监测,并通过显示器显示监测区域内的红外影像信息,开发的软件窗口如图 2 所示,其界面主要由 4 个部分组成:① 采集控制模块:主要用于调试人员对系统的手动开启、停止。② 存储控制模块:主要用于调试人员调试使用,并可将某一监测危险时间段视频、图像存盘,以便后续检查。③ 通信控制模块:主要为调试人员提供可操作性界面,以便后续安装调试。④ 图像显示模块:主要用于实时显示行人检测处理后的监测敏感区域内的红外影像信息,便于调试人员和连续采煤机司机观看。系统可设计开机自启动,也可根据现场实际情况实现手动开启、关闭。



图 2 连续采煤机人员监测保护系统软件窗口

Fig. 2 Software window of pedestrian monitoring and protection system of continuous shearer

2 行人检测处理

行人检测处理是整个系统的核心部分,负责将红外探头采集到的红外影像信息进行行人检测和甄别。

行人检测流程如图 3 所示,系统设定的预警保护策略包括触发防爆报警灯响应和控制连续采煤机后部输送机紧急停车。

系统预先设定监测敏感区域内行人轮廓模板信息,监测开始后,长波红外探头持续对监测敏感区域进行红外图像采集,系统获取每一帧图像信息,并对图像进行行人检测,若检测到行人,系统将行人检测处理结果与设定行人轮廓进行契合度对比,当契合度大于 65% 时,系统触发防爆报警灯进行报警响

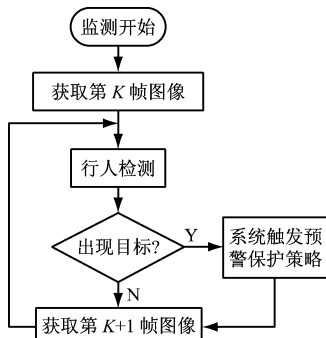


图 3 行人检测流程

Fig. 3 Flow of pedestrians detection

应;当契合度大于 80% 时,系统控制连续采煤机后部输送机紧急停车。若未检测到行人,则对下一帧图像进行判断处理。

由于光照变化、粉尘影响及红外探头本身因素等的影响,采集的图像中夹杂着各种类型的噪声,并且在数据转换及传输过程中也会产生一定的噪声,这些噪声的存在对行人运动检测造成了一定的干扰,因此,在进行行人检测之前,有必要对图像进行前期预处理。针对井下特殊环境,本文设计采用灰度变换方法^[6-8],按比例扩大红外探头采集的图像的灰度范围,以提高成像质量。经过灰度变换后的红外图像,细节信息少,为使图像边缘细节得到有效突出和增强,设计采用 Sobel 算子进行图像锐化滤波处理,减少噪声对图像信息的干扰,有利于图像的后续处理。对于不同的图像及应用范围,不同的配准方法存在着较大差异,必须根据图像的特点及应用角度选择对应的方法。设计采用 SURF 算法,通过局部特征点的提取、描述和匹配,对红外序列图像中的 2 帧图像进行配准。

为满足对监测区域内的行人进行实时监测,并实现对采集的红外影像信息的实时处理,系统设计采用 Otsu 法^[9-11]统计图像灰度直方图,对每一个阈值进行计算,使阈值之上和阈值之下的点与阈值的方差和的差最大化,利用得到的阈值对图像进行二值分割处理,得到黑白二值图像,能够大大简化处理时间,满足实时处理要求。

为使背景图像适应井下环境变化,本系统采用带有遗忘因子的方法来计算背景图像^[12-15],对每一帧新的图像进行自适应加权操作,以更新旧的图像背景,使得到的背景图像更适应于井下黑暗环境的变化,以便得到清晰的背景图像,以达到良好的分割效果,并对得到的位置图像进行形态学操作,消除二值图像中被白色区域包围的黑色区域,从而降

低将纹理相似的前景交叠区域作为背景提取对背景质量的影响。

采用帧间差分法与背景差分法得到的图像处理结果如图4所示,通过差分法可以得到原始图像中运动行人的信息,图4(b)、(c)两幅图中白色区域为差分后对应与图4(a)中行人的位置,通过形态学处



图4 采用帧间差分法与背景差分法得到的图像处理结果

Fig. 4 Image processing results of using inter-frame difference method and background difference method

3 系统测试分析

3.1 系统安装

在完成上述研究内容的基础上,对连续采煤机人员监测保护系统进行现场实际应用测试,测试矿井为榆林矿区某矿 S1230 工作面,工作面配备 12CM15 型连续采煤机,采用连续采煤机控制系统进行供电,供电电压为 AC110 V。

为满足煤矿井下要求,将长波红外探头和微处理机集成于防爆壳体内部,并且在长波红外探头前置防护锗玻璃,防止煤粉影响相机识别精度。根据连续采煤机结构和监测范围,调整长波红外探头监测角度,使其俯视角覆盖连续采煤机后部输送机左前方 1~2 m 范围;为了保证在发现行人时,能够给连续采煤机司机提供明显信号,将防爆报警灯安装于连续采煤机驾驶室内部;根据现场实际情况和设计需求,将微处理机安装于连续采煤机驾驶室顶棚。在确保所有部件接线正确,检查无误后,对连续采煤机人员监测保护系统进行现场调试,前期监测画面不清晰、成像模糊,通过调整长波红外探头焦距及其俯视角,使探头俯视角覆盖连续采煤机后部输送机左前方 1~2 m 区域。

3.2 测试结果分析

图5所示为校车靠近连续采煤机时系统监测画面,由于校车司机或右侧行人所处位置与红外探头之间的距离超过了系统设定距离,监测到的行人轮廓与系统设定的监测敏感区域内行人轮廓不相符,因此系统未触发预警保护策略。

理,便可以提取出行人位置信息。提取出行人位置信息之后,系统设计采用直方图相交距离的方法,对处理后的图像与系统设定行人轮廓进行契合度对比,根据契合比例,触发相应的预警保护策略,以实现保护行人的目的。上述行人检测处理及触发相应的预警保护策略在 1 s 之内完成。

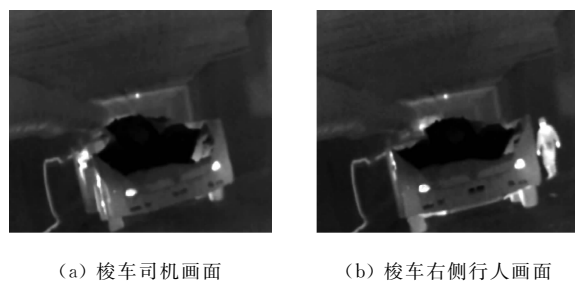


图5 校车靠近连续采煤机时系统监测画面

Fig. 5 Detection screen of system when shuttle is closed to continuous shearer

连续采煤机电缆存在一定的温度,发出和人体接近的红外波,对人员监测造成一定的干扰,属于伪目标,系统将线缆红外影像与设定的行人轮廓进行对比,将对比契合度小于 20% 的图像进行剔除,以保证识别精度。当校车或行人逐步靠近时,系统监测到敏感区域内有行人存在,实时对红外探头采集的影像进行处理,通过对比监测到的行人轮廓与设定行人轮廓的契合度,在 1 s 内完成行人契合度对比,判断是否触发预警保护策略,提醒连续采煤机司机及时采取规避措施;在触发预警保护策略之后,监测区域内行人退出到输送机摆动区域 2 m 范围外,预警保护停止响应,输送机正常工作;当监测区域内行人无视预警保护信号时,越界进入到输送机摆动区域 1 m 范围内时,系统持续触发预警保护策略,同时为保证越界行人生命安全,系统控制输送机紧急停车,待越界行人退出输送机摆动区域 2 m 范围外,由连续采煤机司机再次启动输送机,在输送机停车期间,连续采煤机人员监测保护系统持续不间断对输送机摆动区域 1~2 m 范围内的行人进行

监测。

单个行人和多个行人进入监测区域时的系统监测画面如图6所示。当单个行人进入监测敏感区域时,系统将监测画面内的红外影像轮廓与设定的行人轮廓进行对比,当契合度达到65%以上时,触发预警保护策略,保护行人安全;当多个行人进入监测敏感区域时,系统将监测画面内的多个行人轮廓与设定的行人轮廓进行对比,对契合度高的行人进行优先预警保护,当契合度超过80%时,发出中断控制信号,控制连续采煤机后部输送机紧急停车。



(a) 单个行人

(b) 多个行人

图6 单个行人和多个行人进入监测区域

Fig.6 Individual and multiple pedestrian enter the monitoring area

由于井下环境潮湿、粉尘大,红外探头上附着的粉尘不断增多,经过近2个月的现场试验,发现粉尘未影响系统识别精度,系统识别效果持续良好。

通过现场试验,验证了连续采煤机人员监测保护系统能够实现对连续采煤机后部输送机左前方1~2 m范围的行人进行有效监测,实时获取监测区域内的红外影像信息,在1 s内快速作出行人存在信息判断并发出预警保护措施,保护监测区域内行人的安全。

4 结语

针对连续采煤机后部输送机在工作过程中存在误伤行人的安全隐患,采用红外热成像技术,设计了连续采煤机人员监测保护系统,该系统实现了对连续采煤机后部输送机左前方1~2 m范围内的行人进行实时监测,在1 s内检测到人体目标并触发预警保护策略,有效保护了行人的安全。经过近2个月的现场试验,连续采煤机人员监测保护系统运行稳定、可靠,识别精度高,取得了良好的监测效果。

参考文献(References):

[1] 周树清,王平,王广斌.煤矿建设期间综掘机械化施工技术改造[J].煤炭工程,2011,43(增刊2):120-122.
[2] 李翔,张北平,刘银根.人体感应红外技术在煤矿综掘机中的应用[J].煤炭科技,2009(2):98-99.

[3] 陶明房,孙杰.掘进机人体保护装置研制与应用[J].煤矿开采,2009,14(6):63-64.
[4] 包建军.煤矿井下装备接近探测方法研究[J].工矿自动化,2017,43(1):1-4.
BAO Jianjun. Research on proximity detection method for machines in coal mine [J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(1): 1-4.
[5] 赵岩,符如康,韩超.采煤工作面刮板输送机机头人体红外保护系统[J].山东煤炭科技,2015(2):151.
ZHAO Yan, FU Rukang, HAN Chao. Human body infrared protection system of working face scraper conveyor head [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2015(2): 151.
[6] 杨宇翔,高明煜,尹克,等.结合同场景立体图对的高质量深度图像重建[J].中国图象图形学报,2015,20(1):1-10.
YANG Yuxiang, GAO Mingyu, YIN Ke, et al. High-quality depth map reconstruction combining stereo image pair [J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(1): 1-10.
[7] 谭志国,欧建平,张军,等.一种层析深度图像去噪算法[J].光学学报,2017,37(5):94-100.
TAN Zhiguo, OU Jianping, ZHANG Jun, et al. A laminar denoising algorithm for depth image [J]. Acta Optica Sinica, 2017, 37(5): 94-100.
[8] 董观利,宋春林.基于视频的矿井行人越界检测系统[J].工矿自动化,2017,43(2):29-34.
DONG Guanli, SONG Chunlin. Underground pedestrian crossing detection system based on video [J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(2): 29-34.
[9] 张桂梅,张松,储珺.一种新的基于局部轮廓特征的目标检测方法[J].自动化学报,2014,40(10):2346-2355.
ZHANG Guimei, ZHANG Song, CHU Jun. A new object detection algorithm using local contour features [J]. Acta Automatica Sinica, 2014, 40(10): 2346-2355.
[10] 蔡强,郝佳云,曹健,等.结合局部特征及全局特征的显著性检测[J].光学精密工程,2017,25(3):772-778.
CAI Qiang, HAO Jiayun, CAO Jian, et al. Salient detection via local and global feature [J]. Optics and Precision Engineering, 2017, 25(3): 772-778.
[11] 李响,谭南林,王天雷,等.复杂场景下基于局部运动补偿的目标检测[J].仪器仪表学报,2014,35(7):1555-1563.

LI Xiang, TAN Nanlin, WANG Tianlei, et al. Object detection based on local motion compensation in complex scenes [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(7):1555-1563.

[12] 常好丽, 史忠科. 基于单目视觉的运动行人检测与跟踪方法[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(2):55-59.
CHANG Haoli, SHI Zhongke. Method of moving pedestrian detection and tracking based on monocular vision technology [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(2):55-59.

[13] 何元磊, 王静荔, 贾俊波, 等. 一种改进的高光谱遥感影像 ACE 目标检测算法[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2015, 34(3):62-67.
HE Yuanlei, WANG Jingli, JIA Junbo, et al. Improved

ACE target detection algorithm for hyperspectral remote sensing images [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2015, 34(3):62-67.

[14] 付洋, 宋焕生, 陈艳, 等. 一种基于视频的道路行人检测方法[J]. 电视技术, 2012, 36(13):140-144.
FU Yang, SONG Huansheng, CHEN Yan, et al. Method of detecting road pedestrian based on video [J]. Video Engineering, 2012, 36(13):140-144.

[15] 徐辉, 贺耀宜. 一种煤矿井下监控视频图像预处理方法[J]. 工矿自动化, 2016, 42(1):32-34.
XU Hui, HE Yaoyi. An image preprocessing method for underground monitoring video [J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(1):32-34.