

基于 LSD 算法的链篦机台车侧板偏移检测

王月明^{1,2}, 李真如^{1,2*}, 翟容清², 房良睿², 陈波²

¹ 内蒙古科技大学信息工程学院模式识别与智能图像处理重点实验室, 内蒙古 包头 014010;

² 内蒙古科技大学信息工程学院, 内蒙古 包头 014010

摘要 在链篦机系统故障中, 一种常见的故障为侧板偏移, 当发生侧板偏移时, 会造成严重事故和经济损失。针对人工观察检查为主的侧板偏移检测方法存在费时费力、智能化程度低等问题, 提出了一种基于直线段检测(LSD)算法的侧板偏移检测方法。设计了包括硬件设备搭建和数据处理方式的整套检测方案, 采用摄像机采集链篦机台车侧板图像信息, 根据链篦机台车实际运行情况, 设定链篦机台车侧板偏移检测规则, 通过对采集的视频帧图像感兴趣区域截取、区域划分, 应用 LSD 算法检测图像中的直线段信息, 并对检测获取到的台车侧板直线段信息进行直线融合、断点差值计算处理, 依据判定规则在线检测台车侧板偏移故障并自动给出报警提示。对包钢烧结厂内采集的台车侧板视频图像进行测试, 程序误检率为 1%, 平均检测与判定时间不足 0.1 s, 表明该方法能够有效替代人工观察检查方法检测台车侧板偏移故障, 为链篦机台车侧板偏移检测提供技术支持。

关键词 机器视觉; 侧板偏移; 检测; 台车; 直线段检测算法; 链篦机

中图分类号 TP391

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP202158.0815001

Side Plate Offset Detection of Grate Trolley Based on LSD Algorithm

Wang Yueming^{1,2}, Li Zhenru^{1,2*}, Zhai Rongqing², Fang Liangrui², Chen Bo²

¹ Key Laboratory of Pattern Recognition and Intelligent Image Processing, School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia 014010, China;

² School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia 014010, China

Abstract One of the common faults in grate system is side plate offset, and when the side plate offset occurs, it will cause serious accidents and economic losses. Aiming at the problems of time-consuming, laborious, and low intelligent in the side plate offset detection method based on manual observation and inspection, a side plate offset detection method based on line segment detector (LSD) algorithm is proposed. The whole detection scheme including hardware equipment construction and data processing method is designed. The image information of the side plate of the grate trolley is collected by camera. According to the actual running condition of the grate trolley, the offset detection rules of the side plate of the grate trolley are set. Through region of interest capture and region division of the collected video frame images, LSD algorithm is used to detect the straight-line segment information in image, and the straight-line segment information of the trolley's side plate obtained from the detection is processed by straight-line fusion and breakpoint difference calculation. According to the judgment rules, the offset fault of the trolley's side plate is detected online and the alarm is given automatically. By testing the video image of trolley side plate collected in sintering plant of Baotou Steel, the program error detection rate is 1%, and the average detection and judgment time is less than 0.1 s, which can effectively replace the manual observation detection method to detect the offset fault of trolley side plate, and provide technical support for the offset detection of chain grate trolley

收稿日期: 2020-07-22; 修回日期: 2020-09-08; 录用日期: 2020-09-09

基金项目: 国家自然科学基金(61962046)、内蒙古自然科学基金(2020MS06008)

* E-mail: johnny_lzr@163.com

side plate.

Key words machine vision; side plate offset; detection; trolley; line segment detector; grate

OCIS codes 150.3040; 150.1835; 150.1135; 100.2000

1 引言

链篦机-回转窑球团工艺是当今钢铁企业普遍采用的球团生产方法。其主要设备由链篦机、回转窑和环冷机组成,而链篦机设备起到承上启下的重要作用^[1-3]。链篦机台车侧板一旦发生偏移,就可能引发红矿掉入链篦机下回环烧坏电缆,或者发生碰撞造成链节拉断等生产事故,进而造成严重经济损失^[4]。目前,侧板偏移故障的检测仍旧主要依靠原始的人工观察检查,存在费时费力、智能化程度低等问题。

针对由侧板偏移引起的链篦机系统故障,鞍钢集团有限公司设计了一种链篦机事故开关,包括机械传动碰撞组件和电气极限开关,既能解决侧板翘起造成的刮卡问题,又能防止小轴窜出造成的刮卡现象^[5]。鞍钢集团有限公司还设计了一种球团链篦机侧板状态检测装置,包括底座、密封罩、检测片旋转轴、接近开关挡铁、篦板检测片、接近开关及声光报警器,可提前检测和发出声光报警,及时通知生产人员进行侧板复位^[6]。重庆钢铁股份有限公司设计了一种链篦机侧板故障检测机构,包括带有检测件

的转筒和接近开关,用以检测侧板偏移故障^[4]。新兴铸管股份有限公司设计了一种链篦机自动报警装置,包括信号发生机构和报警机构,报警机构包括串联于闭合电路中的接近开关和声光报警组件,能够对出现链篦机侧板断裂等故障时进行提前报警^[7]。但目前这些检测技术还没有在工业上进行推广应用。

目前,基于机器视觉的缺陷检测方法已经在各工业领域广泛应用,包括机械制造^[8-9]、钢铁生产^[10-11]、精密仪器^[12]、半导体及电子^[13]、轻工^[14-15]等行业。本文将计算机视觉和图像处理技术应用到侧板偏移故障的检测中,利用摄像机获取台车现场工作视频,对视频帧图像进行感兴趣区域(ROI)截取,结合生产实际对 ROI 进行区域划分,应用直线段检测(LSD)算法^[16]检测各区域中表示侧板的直线信息,然后对检测获取到的直线信息进行直线融合、断点差值计算处理,在数据处理结果的基础上,依据判定规则在检测到故障时自动给出报警提示,指导工业生产。

2 侧板偏移故障检测技术方案

台车侧板偏移故障检测技术方案示意图如图 1

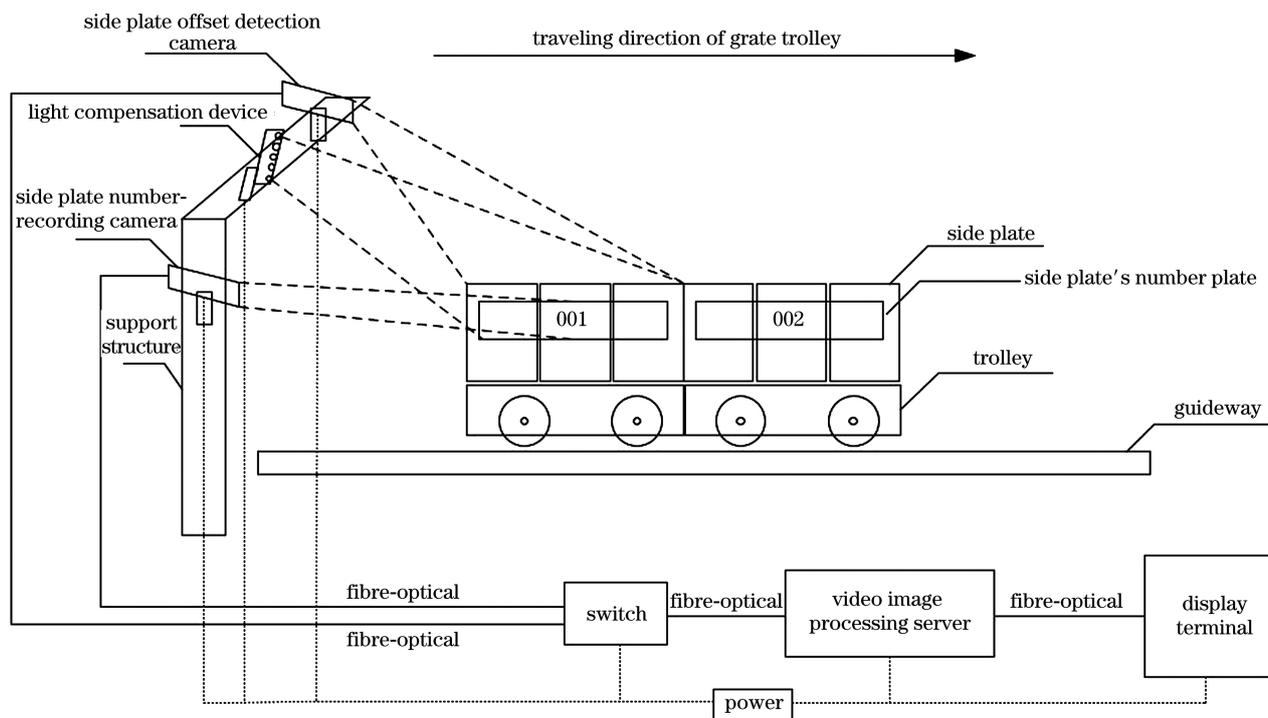


图 1 技术方案示意图

Fig. 1 Schematic diagram of technical solution

所示。在台车运行导轨旁的支架上安装两台摄像机,侧板号牌记录摄像机安装在支架侧边,以获取为台车侧板设置的唯一编号信息,侧板偏移检测摄像机安装在台车正上方的支架上,能够对侧板偏移情况进行检测,必要时使用补光设备,使摄像机获取较好的视频图像。两台摄像机与视频图像处理服务器通过交换机连接起来,将视频图像数据传送到视频图像处理服务器中进行算法处理。当视频图像处理服务器检测到侧板发生偏移故障时,在显示终端可查看经视频图像处理服务器算法处理后的检测效果图和报警提示,以及侧板号牌记录摄像机实时获取到的侧板编号信息,以便现场工作人员查看处理,预防生产事故的发生。

3 侧板偏移故障检测算法

3.1 检测区域限定与划分

在生产实际中,台车侧板发生的偏移故障分为两种等级:当侧板发生低等级偏移故障时,后续可能因侧板偏移程度加重而引发生产事故,需定期对故障处进行处理;当侧板发生高等级偏移故障时,需立即对故障处进行处理,否则将导致生产事故的发生。

侧板偏移检测摄像机在采集现场视频图像过程中位置固定,因此采集的视频帧图像中各物体位置固定在图像某一区域内。链篦机台车侧板俯视示意图如图 2 所示,对侧板偏移检测摄像机采集的图像

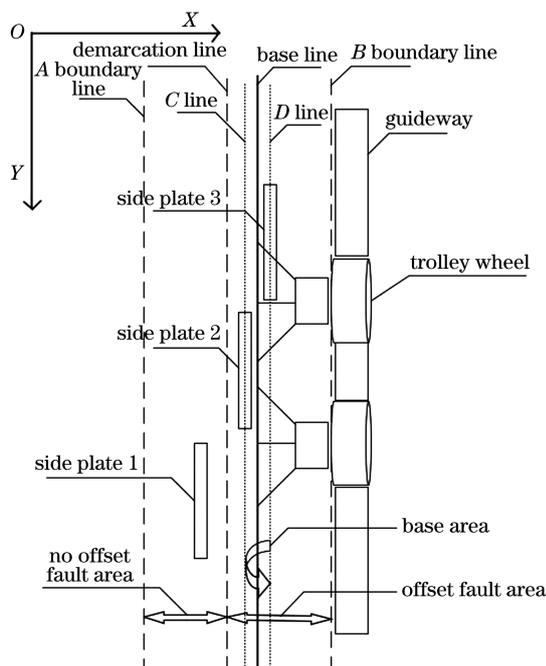


图 2 链篦机台车侧板俯视示意图

Fig. 2 Overlooking schematic diagram of grate trolley's side plate

进行 ROI 截取,将台车侧板直线段检测的区域限定在 A、B 两条边界线之间。结合生产实际中对偏移故障的界定,在 ROI 区域中固定位置处设定分界线来判定台车侧板是否发生偏移故障,分界线将待检测区域划分为无偏移故障区域和偏移故障区域。将台车结构中的车架边框定义为基准线,用于划分侧板发生偏移故障的等级,C 线与 D 线之间划分出一个基准区域(车架边框在视频帧图像中出现的位置区域在 C 线与 D 线之间)。侧板在分界线左侧,如图中侧板 1(side plate 1),定义该侧板未发生偏移故障;侧板在分界线右侧(包括分界线上),且在基准线左侧,如图中侧板 2(side plate 2),定义该侧板发生低等级偏移故障;侧板在基准线右侧(包括基准线上),如图中侧板 3(side plate 3),定义该侧板发生高等级偏移故障。

3.2 LSD 直线检测

LSD 算法是 von Gioi 等^[16]提出的一种快速检测直线段的方法。该算法具备运行速度快,算法参数能够自适应,并且错误检测率被有效控制等一系列显著优点。算法主要步骤:1)对输入图像进行预处理,通过高斯降采样来减弱或消除图像中出现的锯齿效应;2)计算图像各像素的梯度幅度和梯度方向;3)选取梯度幅度极值的像素点作为种子点开始区域生长,将种子点周围 8 邻域梯度方向误差小于阈值的像素点加入当前区域,标记这些像素点为已使用;4)更新区域角度,之后将区域近似成矩形候选直线段;5)对矩形候选直线段进行验证^[17]。

应用 LSD 算法对不同场景的图片进行直线检测的过程中,可根据实际需要调整超参数 refine 和 scale 进行调整。其中,超参数 refine 代表 LSD 算法对图片中直线检测的精细程度,共有 0、1、2 三个值可选(默认值为 1),选取的数值越大,理论上对同一幅图片可检测出的直线就越多;超参数 scale 代表高斯降采样的采样率,取值范围(0,1],默认值 0.8 即表示将输入图像缩放到原来的 80%,这种缩放有助于应对许多图像中出现的阶梯效应。针对本文应用 LSD 算法进行直线检测的实际需要,为尽可能避免检测除侧板和基准线外的干扰杂线,设定超参数 refine 为 0;同时针对本文研究所采集的数据集,经过对 100 张图片的实际测试可知,在设定超参数 scale 为 0.4 时可有效应对图像中出现的阶梯效应,获得最佳的检测效果。

3.3 故障判定

对选定的 ROI 待检测区域应用 LSD 直线检测

算法,检测图像中的侧板和基准线。将无偏移故障区域、偏移故障区域、基准区域检测到的直线段分别以不同颜色绘制出来,得到侧板偏移故障检测效果图。

应用 LSD 算法检测各区域直线后,对检测获取到的直线段信息进行处理:判断无偏移故障区域中检测到的直线是否发生断层,保存基准线左侧偏移故障区域内检测到的直线段信息。判断直线是否发生断层的主要思路如下:将检测到的所有直线段映射到图像纵向坐标轴上,直线段重合的部分进行融合合并,若融合合并后的直线未完全覆盖图像纵向坐标值,则计算相邻断点的差,差值大于设定的阈值则判定直线断层。

在数据处理结果的基础上,程序依据判定规则

在检测到故障时自动给出报警提示,指导工业生产。判定规则为:1)若无偏移故障区域中的直线没有断层,且在基准线左侧偏移故障区域内检测到直线,则判定侧板发生低等级偏移故障;2)若无偏移故障区域中的直线断层,且在基准线左侧偏移故障区域内没有检测到直线,则判定侧板发生高等级偏移故障;3)若无偏移故障区域中的直线断层,且在基准线左侧偏移故障区域内检测到直线,则判定侧板发生低等级偏移故障,可能同时存在高等级偏移故障;4)其余情况,则判定侧板未发生偏移故障。

台车侧板偏移检测算法总体流程示意图如图 3 所示。侧板偏移检测摄像机实时采集台车侧板现场视频,程序以固定时间间隔截取视频帧图像,对帧图

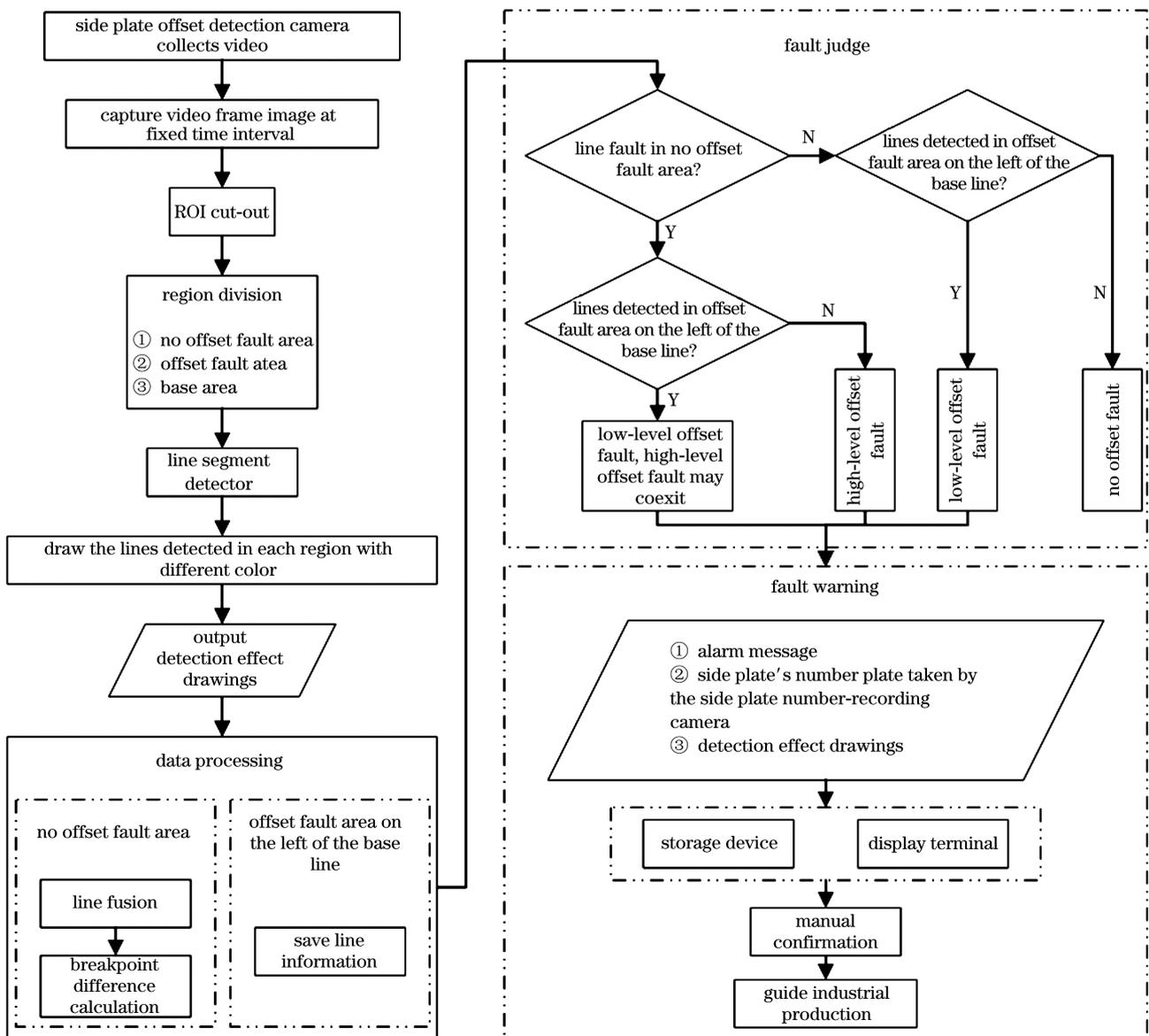


图 3 侧板偏移故障检测算法流程示意图

Fig. 3 Flow schematic diagram of side plate offset fault detection algorithm

像进行 ROI 截取、区域划分后,应用 LSD 算法检测帧图像中侧板和基准线对应的直线段信息,对无偏移故障区域中检测获取到的台车侧板直线段信息进行直线融合、断点差值计算处理,保存基准线左侧偏移故障区域中检测获取到的台车侧板直线段信息,程序依据判定规则在线检测台车侧板偏移故障,并在检测到故障时自动将报警提示信息、侧板号牌信息及检测效果图送至存储设备和显示终端,推送现场工程师进行人工确认。若确认为高等级侧板偏移故障,则工程师需对故障进行及时处理;若确认为低等级侧板偏移故障,则储存故障预警信息,在定期设备维护的过程中进行检修处理。

4 实验结果与分析

实验在 Windows10 环境下实现,计算机的 CPU

型号为 Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ, GPU 型号为 NVIDIA GeForce GTX 1050, 显存为 2 GB, 内存为 8 GB。设置 LSD 直线段检测器中的参数 refine 为 0, scale 为 0.4, sigma_scale 为 0.6, quant 为 2.0, ang_th 为 22.5, log_eps 为 0, density_th 为 0.7, n_bins 为 1024。

以包钢烧结厂采集的现场视频做测试,共整理出 100 张图片作为测试数据集。其中,未发生偏移故障侧板图片 70 张,发生低等级偏移故障侧板图片 20 张,发生高等级偏移故障侧板图片 10 张。不同类型侧板偏移故障的检测效果图如图 4 所示,实验过程中,设定无偏移故障区域、偏移故障区域、基准区域检测到的直线分别以不同颜色(本文采用绿色、红色、蓝色)绘制出来。

从图4(a)中可以看出,图中无偏移故障区域检

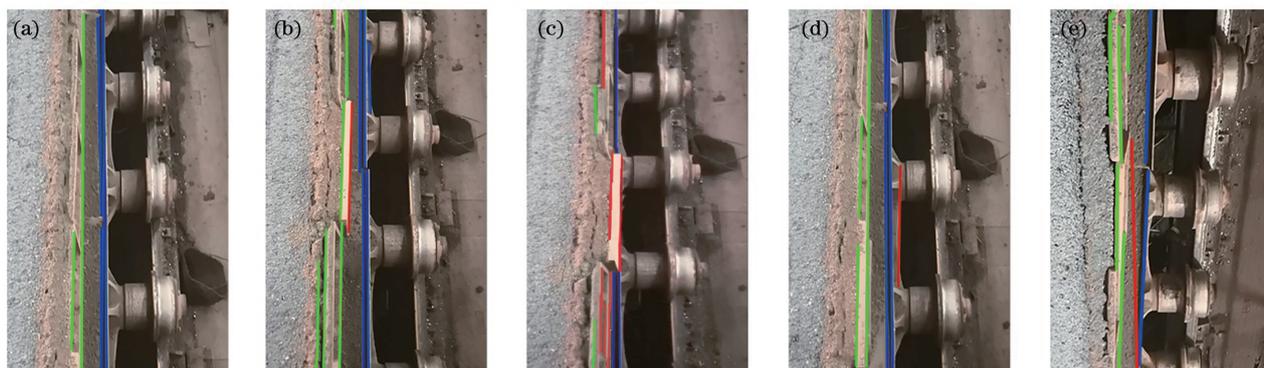


图 4 不同类型侧板偏移故障检测效果图。(a)(d)(e)无偏移故障;(b)低等级偏移故障;
(c)同时存在低等级和高等级偏移故障

Fig. 4 Different types of side plate offset fault detection effect drawings. (a)(d)(e) No offset fault; (b) low-level offset fault; (c) low-level and high-level offset fault coexist

测到的直线段(绿线)未发生断层,且基准线左侧偏移故障区域未检测到直线段(红线),则程序判定侧板未发生偏移故障;从图 4(b)与(e)中可以看出,图中无偏移故障区域检测到的直线段(绿线)未发生断层,且基准线左侧偏移故障区域检测到直线段(红线),则程序判定侧板发生了低等级偏移故障,将检测效果图推送到工程师处进行确认后,确定图 4(b)中侧板发生了低等级偏移故障,图 4(e)中侧板未发生偏移故障;从图 4(c)中可以看出,图中无偏移故障区域检测到的直线段(绿线)发生断层,且基准线左侧偏移故障区域检测到直线段(红线),则程序判定侧板发生了低等级偏移故障,可能同时存在高等级偏移故障,将检测效果图推送到工程师处进行确认后,确定同时存在发生高等级偏移故障的侧板;从图 4(d)中可以看出,图中无偏移故障区域检测到的直线段(绿线)未发生断层,且基准线左侧偏移故障

区域未检测到直线段(红线),则程序判定侧板未发生偏移故障,图中在基准线右侧偏移故障区域检测到的直线段(红线)为检测过程中的干扰杂线,不影响程序判定结果。

对包钢烧结厂采集的现场视频整理出的 100 张图片进行检测,程序检测结果如表 1 所示,共判定出存在低等级偏移故障图片 21 张、可能同时存在高等级偏移故障图片 10 张。故障预警提示信息推送给现场工程师确认,现场工程师依据推送的检测效果图,确定存在低等级偏移故障图片 20 张、同时存在高等级偏移故障图片 10 张,程序误检率为 1%,其中 1 张无偏移故障图片被程序检测判定出低等级偏移故障,对整体检测工序无影响。本文研究的链篦机台车运行速度为 3 cm/s,程序每隔 5 s 截取视频帧图像进行检测判定,平均检测与判定时间不足 0.1 s,可满足实时性需求。实验结果表明,本文方

法降低了现场工作人员的工作强度,能够有效替代人工观察检查方法检测台车侧板偏移故障,自动化程度高,且具有较好的实时性。

表 1 程序检测结果

Table 1 Program detection results

Image type	Actual number	Detection number
No offset fault	70	69
Low-level offset fault	20	21
Low-level and high-level offset fault coexist	10	10

5 结 论

在烧结生产工艺中,一种常见的链篦机系统故障为侧板偏移,当发生侧板偏移后,如果不能及时停机处理,会造成严重事故和经济损失。目前,侧板偏移故障的检测仍旧主要依靠原始的人工观察检查,存在费时费力、智能化程度低等问题。本文利用摄像机获取台车现场工作视频图像,通过使用 LSD 直线检测算法并结合区域划分的思想,将计算机视觉和图像处理技术应用到侧板偏移故障的检测中,可有效替代人工观察检查方法检测台车侧板偏移故障,实现了对侧板偏移故障的实时自动化检测。本研究方案可有效避免钢铁企业烧结厂链篦机生产事故,降低人力资源的耗费,提高生产效益,提升企业管理水平,对智慧钢铁工厂的实现和发展具有极其重要的推动作用,具有潜在的应用价值。

参 考 文 献

- [1] Gao Y H, Zhang Y M, Tang J. Brief introduction of chain-comb machine [J]. Mechanical Engineering & Automation, 2008(2): 109-110.
高宇宏, 张英明, 唐玖. 链篦机的结构简介 [J]. 机械工程与自动化, 2008(2): 109-110.
- [2] Yao T S. Comprehensive utilization of the travelling grate machine and analyzing of the main parts [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014.
姚廷松. 链篦机综合利用及主要件分析 [D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [3] Yi L G. Failure analysis and improvement research of chain grate parts [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2013.
易林根. 链篦机篦床主要零部件失效原因分析与改进试验 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.
- [4] Ding T Y, Tong Y, Da Z H, et al. Chain grate side plate offset detection mechanism: 203345683U [P]. 2013-12-18.
丁彤宇, 童毅, 达朝晖, 等. 一种链篦机侧板偏移检测机构: 203345683U [P]. 2013-12-18.
- [5] Zhang S H, Huang X, Luo Z B, et al. Drying grate accident switch: 207649355U [P]. 2018-07-24.
张绍辉, 黄旭, 罗振波, 等. 链篦机事故开关: 207649355U [P]. 2018-07-24.
- [6] Guo Q F, Bao C S, Feng B Z, et al. Pellet chain grate side plate state detection device: 209027286U [P]. 2019-06-25.
国泉峰, 鲍春思, 冯宝泽, 等. 一种球团链篦机侧板状态检测装置: 209027286U [P]. 2019-06-25.
- [7] Jin J T, Yang X Q, Li W G, et al. Drying grate autoalarm: 207035831U [P]. 2018-02-23.
金江涛, 杨献强, 李文革, 等. 一种链篦机自动报警装置: 207035831U [P]. 2018-02-23.
- [8] Hao Y, Geng P, Wen Q H, et al. Research on image processing and pattern recognition of skew defect of antifriction bearing cage [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019, 40(9): 162-169.
郝勇, 耿佩, 温钦华, 等. 滚动轴承保持架缺陷的图像处理及模式识别方法研究 [J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(9): 162-169.
- [9] Park J K, Kwon B K, Park J H, et al. Machine learning-based imaging system for surface defect inspection [J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 2016, 3(3): 303-310.
- [10] Shen X H, Li Z H, Li M, et al. Aluminum surface-defect detection based on multi-task deep learning [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(10): 101501.
沈晓海, 栗泽昊, 李敏, 等. 基于多任务深度学习的铝材表面缺陷检测 [J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(10): 101501.
- [11] Luo Q W, He Y G. A cost-effective and automatic surface defect inspection system for hot-rolled flat steel [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2016, 38: 16-30.
- [12] Chen Y J, Tsai J C, Hsu Y C. A real-time surface inspection system for precision steel balls based on machine vision [J]. Measurement Science and Technology, 2016, 27(7): 074010.
- [13] Yu J B, Lu X L. Wafer map defect detection and recognition using joint local and nonlocal linear discriminant analysis [J]. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 2016, 29(1): 33-43.
- [14] Li D J, Li R H. Mug defect detection method based on improved faster RCNN [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(4): 041515.

- 李东洁, 李若昊. 基于改进 Faster RCNN 的马克杯缺陷检测方法 [J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(4): 041515.
- [15] Jian C X, Gao J, Ao Y H. Automatic surface defect detection for mobile phone screen glass based on machine vision [J]. Applied Soft Computing, 2017, 52: 348-358.
- [16] von Gioi R G, Jakubowicz J, Morel J M, et al. LSD: a line segment detector [J]. Image Processing on Line, 2012, 2: 35-55.
- [17] Zheng H J, Zhong B J. Overview and evaluation of image straight line segment detection algorithms [J]. Computer Engineering and Applications, 2019, 55(17): 9-19.
- 郑行家, 钟宝江. 图像直线段检测算法综述与测评 [J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(17): 9-19.