

基于机器视觉的矿用带式输送机跑偏故障检测系统

董征 张旭辉 王泰华 耿天普

矿

用带式输送机将大量煤炭不断从井底运输到地面的过程中,会发生各种各样的故障,其中输送带跑偏是最常见的故障之一。当发生输送带跑偏时,大量煤炭从输送带一侧掉落,直接会影响生产效率,甚至威胁矿工生命安全。

机器视觉算法通过采集图像对感兴趣区域的像素进行研究,目前已应用在各行各业,技术日趋成熟。OpenCV视觉库提供了大量的机器视觉与图像处理算法,可快速有效采集图像并进行相应的分析处理。随着智能化矿山与5G的发展,人工智能在矿山智能化建设中发挥重要作用,其中通过视觉算法对设备进行检测与控制的技术已经日渐成熟。中国矿业大学、太原理工大学等研制基于机器视觉检测输送带故障,识别输送量,并根据输送量控制电动机智能调速等技术已经在实验室稳定运行。宁夏广天夏电子科技有限公司、精英数智科技有限公司等研制的基于机器视觉的输送带控制人工智能方案已经投入煤矿应用。

传统的带式输送机跑偏检测采用的是接触式跑偏传感器,这种接触式传感器在使用过程中存在安装复杂、灵敏度低、成本高等缺点。因此,设计了基于机器视觉的矿用带式输送机跑偏故障检测系统,采用矿用摄像头采集图像,使用python语言和OpenCV视觉库编译软件进行图像处理,可对煤矿图像进行清晰化处理,有效减少煤尘影响,增加图像清晰度;通过Candy边缘检测、霍夫变换直线检测等图像处理技术快速有效地检测输送机跑偏,并将数据传输至PLC控制纠偏机构动作。

带式输送机跑偏故障检测系统设计方案

基于机器视觉的带式输送机跑偏故障检测系统主要由视频采集、图像处理与执行机构组成。视频采集系统主要由矿井自带的矿用摄像机作为图像采集设备,通过光纤将视频图像传送到调度室的工控机上。计算机软件由python语言编译而成,将采集的视频图像进行机器视觉处理,将煤矿图像进行清晰化处理并实时检测输送带运行位置,依据定义好的输送带跑偏方向与跑偏量,发出警报并控制纠偏装置动作。基于机器视觉的带式输送机纠偏系统框架如图1所示。

纠偏装置分为三级:一级纠偏装置由多个固定在机架的双自由度托辊组成;二级纠偏装置由固定在输送带滚筒的张力调节机构组成;三级纠偏装置控制电机停机。双自由度托辊由步进电机减速控制在导轨上下左右运动,使托辊可以在横截面与垂直面内旋转,通过控制双自由度托辊的位置实现输送带纠偏,其特征是可以有效固定输送带,使输送带按照固定轨道运行。张力调节机构通过控制被动滚筒的水平位置来调节输送带的张力,由于输送带会朝着张力较大的一侧跑偏,调整被动滚筒到张力较小的一侧,使输送带两侧张力一致,实现输送带纠偏。

纠偏装置如图2所示,二级纠偏装置由双自由度托辊根据输送带长度每隔30 m安装1套。当视频纠偏分析软件检测到某段输送带出现轻微跑偏时,控制跑偏输送带长度区间内的双自由度托辊上下左右旋转,进而实现一级纠偏控制。二级纠偏装置安

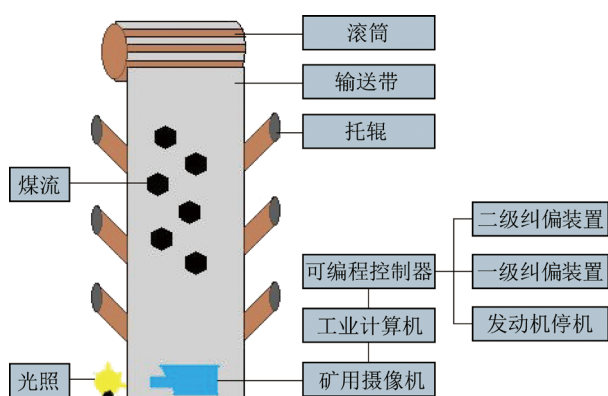


图1 带式输送机跑偏故障检测系统框架

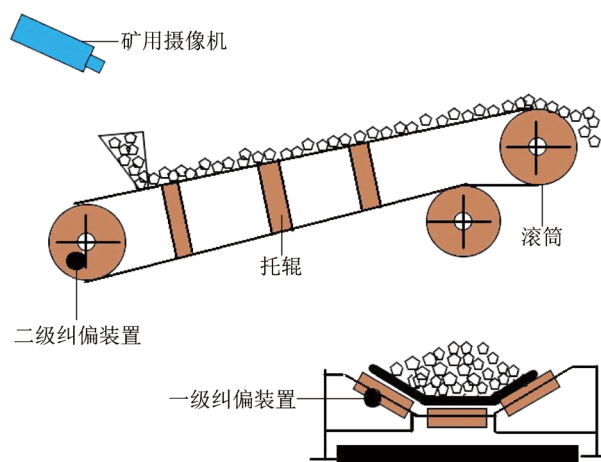


图2 纠偏装置

装在输送带机头滚筒处，每条输送带安装1套。当视频纠偏分析软件检测到某段输送带出现明显跑偏时，将控制这条输送带的被动滚筒水平移动，进而实现二级纠偏。当视频纠偏分析软件检测到输送带跑偏非常严重时，会控制电机停止实现三级纠偏。

输送带设备运行视频图像预处理

矿用带式输送机在运行过程中会产生大量煤尘，矿用摄像头采集到的视频图像受煤尘影响，导致视频图像清晰度较低。带式输送机巷道灯光较少，照明分布不均，也会严重影响视频图像的质量。因此，要对采集的视频图像进行预处理，传统的去雾方法采用的是基于暗通道先验原理算法，可对雾尘图像进行有效地清晰化处理。但在实际的处理过程中，煤矿视频图像多为灰度图像，暗通道先验原理处理效果不强，笔者在暗通道先验原理的基础上增加了基于小波变换的图像增加算法，可以较好地实现煤矿图像清晰化处理。

输送带设备运行视频图像清晰化预处理流程如图3所示。首先获取原始视频图像，经过暗通道先验原理进行去雾处理，将视频图像中模糊的粉尘噪声去除；然后对暗通道先验原理处理过的图像进行引导滤波算法去除图像的椒盐噪声；接着对视频图像进行小波变换处理将图像分解为高低频分量，

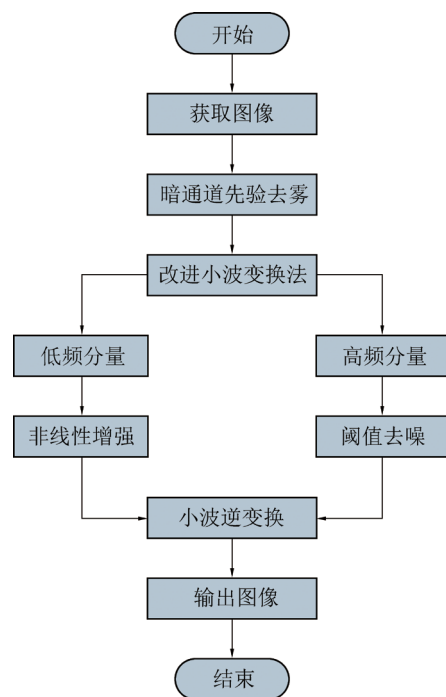


图3 视频图像清晰化预处理流程

分别对高低频分量进行阈值去噪与非线性增强，实现图像增强，最后通过小波逆变换获得对比度更明显、输送带运行情况更清晰的视频图像。

小波变换是将图像信号分解成高频分量与低频分量2个部分，通过对2个部分的信号分量分别进行不同的处理，突出不同信号分量下的差异与细节，从而达到增加图像层次感进而实现图像增强的



(a) 原始视频图像



(b) 预处理视频图像

图4 输送带视频图像预处理效果

一种算法。将煤矿视频信号通过暗通道先验原理去雾后经过小波变换处理，实现图像增强，增加煤矿图像的清晰度。经过3次小波分解后的高低通滤波图，修改不同分量细节图的小波系数，经过小波逆变换后可得到所需的图像增强效果。

引导滤波在图像滤波方面取得了较好的效果，相比于传统的滤波器，引导滤波器有效地提高了图像清晰度，以及消除图像的椒盐噪声；在灰度图与高维图像中也有更快的处理速度，在矿井图像去雾处理方面有良好的表现。

OpenCV视觉库含有大量的机器视觉处理算法，通过调用相应的图像处理算法，将视频图像进行去雾、引导滤波、小波变换等处理。对比发现矿用带式输送机的运行视频图像的雾尘得到很大改善，有效提高了清晰度，使工作人员更加清楚地看到输送带设备运行工况，也为后续的图像处理算法提高了准确度。输送带视频图像预处理效果如图4所示。

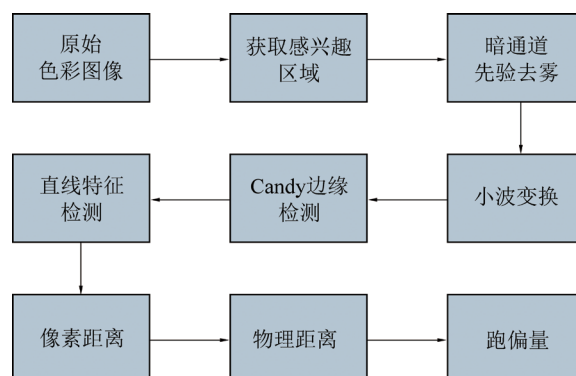


图5 跑偏量检测流程

输送带检测方法

首先，将带式输送机正常运行时的图像设置为背景帧，选择带式输送机输送带边缘两侧的固定区域作为感兴趣区域，确保摄像头稳定不发生偏移，对背景帧输送带位置进行标定。然后逐帧采集视频流，在感兴趣区域内与背景帧对比计算差异，并得到差分图。在感兴趣区域内对输送带进行Candy边缘计算，实时检测输送带边缘，然后利用直线检测算法，提取输送带边缘位置，与标定好的输送带位置作对比，可以实时判断输送带中心位置与边缘位置以检测跑偏量，输送带跑偏量检测流程如图5所示。

边缘检测

利用OpenCV视觉库提供的Candy边缘检测算法函数进行输送带边缘检测，可以更准确地计算图像梯度与边缘幅值。Candy边缘检测主要分为4个步骤：①对图像进行滤波增强；②求出各个像素的梯度幅值与角度；③对梯度幅值进行非极大值抑制；④用双阈值法检测出图像边缘。其中，对梯度幅值进行非极大值抑制是指消除一部分非边缘像素点的影响，最后利用双阈值法对图像进行处理，消除图像边缘断裂效果。经过Candy边缘检测得到输送带运行的边缘检测二值化图像，可以清晰看到输送带两侧直线，但也有其他噪声影响，需要使用霍夫直线变换将噪声剔除，只保留输送带两侧直线。

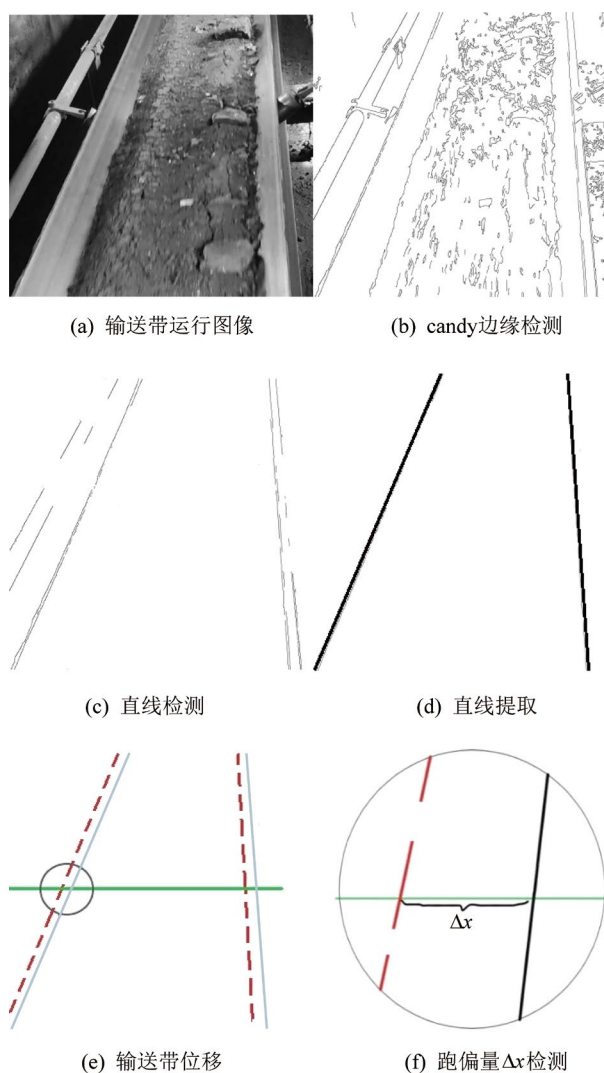


图6 输送带直线特征提取

直线特征检测

霍夫变换是图像处理中常用的一种方法，用来提取图像的特征值来检测直线、圆、椭圆等形状。使用霍夫变换来提取经过边缘检测后的输送带运行图像及输送带两侧直线，剔除图像中其他噪声影响。

参数空间的每个点均对应图像空间的一条直线或曲线。参数空间采用极坐标系，可在参数空间表示原始空间中的所有直线。通过检测极坐标系并发曲线的数量大于所设定的阈值即可检测出平面坐标系的所有共线点，各个共线点组成不同的直线段，然后将直线段进行图像增强，如图6c、图6d所示。

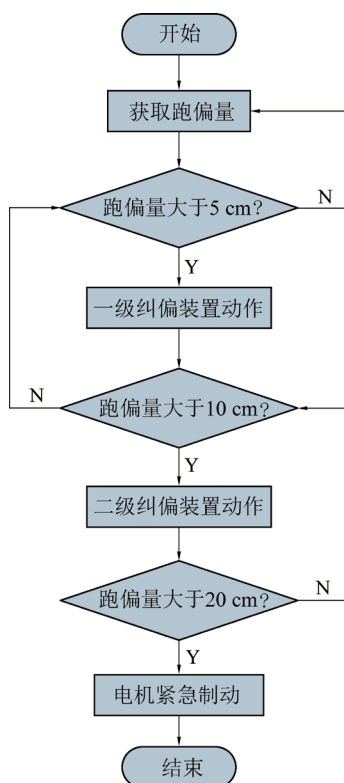


图7 纠偏流程

跑偏量检测

将图像噪声去除后，提取到输送带两侧的直线，取输送带左侧边缘附近作为感兴趣区域，提取到左侧直线。首先将直线像素坐标进行标定，取输送带正常运行过程中的视频图像作为标定图像，将直线像素坐标进行标定，然后对视频流进行逐帧处理。当输送带发生偏移时，可通过偏移坐标与标定坐标的差计算出偏移量。图6e中的蓝色直线为输送带正常运行时的背景帧标定值，红色虚线为输送带发生跑偏故障时的位置。

在像素坐标中取1条水平直线与2条直线相交于2点。当输送带发生跑偏时，红色虚线会发生水平位移，此时检测像素坐标的改变量如图6f所示。通过像素距离与现实距离对应关系可计算出输送带的跑偏量。如果检测到输送带偏移与正常运行中心距离为5 cm，控制一级纠偏装置动作；如果检测到输送带偏移中心值超过10 cm，控制二级纠偏装置动作；如果检测到输送带偏移与正常运行中心距离

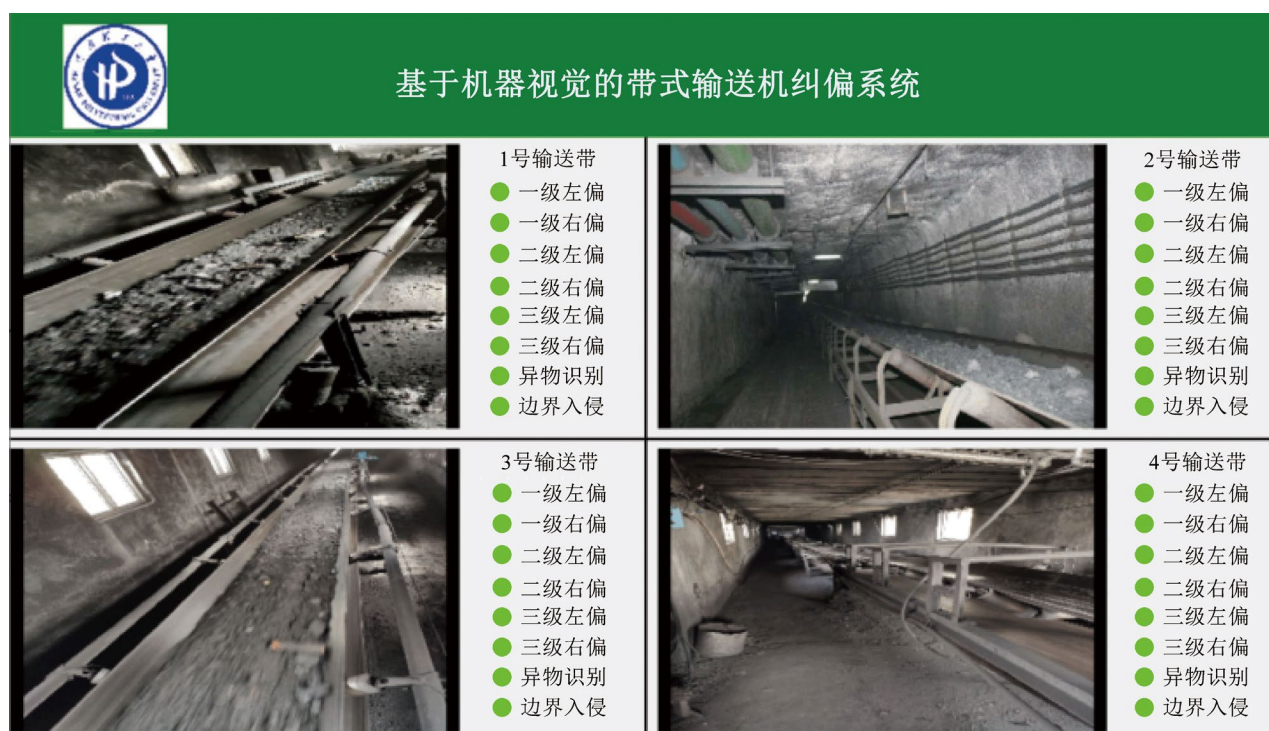


图8 软件界面



图9 输送机运行设备平台

为20 cm，则控制输送带电机停机，输送带纠偏流程如图7所示。通过控制三级纠偏装置实现对矿用带式输送机的故障控制，有效减少输送带跑偏带来的损失，增加生产运输效率。

输送带检测系统试验及结果分析

视频分析软件由python语言编译而成，放置在上位机中，使用光纤与井下输送机的各个矿用摄像机进行通信；通过调用OpenCV 库实现视频码流的采集与图像处理，调用Tkinter 库实现软件界面设计，调用Snap7库以太网TCP/IP协议控制可编程控制器西门子PLC，进而控制各个电机与纠偏装置。考虑到图像控制的不稳定性，上位机软件每次发出的指令都需经过操作人员确认后才能发送到PLC中，上位机视频分析软件界面如图8所示。

软件界面获取4个矿用隔爆摄像机的码流，分别检测输送带运输线各段运行状况，该界面除了可以进行正常的视频监控以外，还具有一级纠偏、二

级纠偏、三级纠偏、异物检测、边界入侵等功能。

视频采集系统选择矿用隔爆摄像机，防爆壳体内部装载了CMOS摄像头，可以实时、有效地采集到输送带运行画面，适用于井下有瓦斯气体、煤尘爆炸危险的环境中。摄像头可以根据井下复杂环境进行变焦处理，夜间模式与红外模式也增加了黑暗环境下视频的清晰度。

在实验室部署的输送机运行设备平台如图9所示，机械装置由支架、托辊、滚筒、输送带组成；控制系统由各类传感器、纠偏装置、电机、变频器、西门子PLC组成；视频分析系统由矿用摄像机与上位机软件组成。输送带可以通过按钮主动触发跑偏故障，由位移传感器与视频图像识别2种方法分别检测输送带跑偏量，根据对比结果可知两者采集到的数据基本一致。

济源煤业二矿9条带式输送机部署基于机器视觉的跑偏故障检测系统，利用井下的矿用摄像头作为视频信号采集端，充分部署光源。使用调度室的上位机作为视频图像处理端，对井下输送带运行状况进行实时监控。通过上位机可以清晰地看到设备运行的视频图像，观察并记录9条输送带的跑偏量与纠偏响应时间，结果见表1。

表1 输送带跑偏量与纠偏响应时间

输送带编号	长度/m	检测最大跑偏量/cm	实际最大跑偏量/cm	纠偏响应时间/s
1	350	3.2	3.3	2.7
2	200	7.8	7.9	2.6
3	150	5.5	5.5	2.5
4	300	3.6	3.6	3.0
5	400	4.5	4.7	4.6
6	300	13.5	13.9	3.6
7	200	8.3	8.5	2.5
8	300	5.2	5.4	2.7
9	700	9.4	9.8	3.9

由表1可知，基于机器视觉的带式输送机跑偏故障检测系统响应时间小于4.6 s，通过机器视觉检

测跑偏量与传感器实际跑偏量相差的最大值仅为0.4 cm。基于机器视觉的带式输送机跑偏故障检测系统，可以快速有效地检测输送带跑偏并控制纠偏装置动作，控制输送机稳定运行，减少设备的停机时间，提高生产效率。因此基于机器视觉的带式输送机跑偏故障检测系统具有一定的可控性与稳定性，可在现场使用。

结 论

1) 设计了基于机器视觉的矿用输送带跑偏检测系统，该系统更加高效、智能，通过视频图像检测输送带跑偏代替传统的接触式传感器。

2) 针对煤矿图像粉尘严重影响图像质量的问题，提出了暗通道先验与小波变换相结合的图像处理办法，有效增强了煤矿视频图像的清晰度。

3) 经过实验室测试与现场实践，基于机器视觉设计的矿用输送带跑偏检测系统可以有效检测到跑偏故障并控制纠偏设备，有效减少煤矿工人的工作量。

4) 通过视频检测输送带跑偏故障，目前还存在易受环境光源等影响，通过引入深度学习算法，对输送带在不同环境、不同光照下的视频图像进行训练识别，可有效解决该问题。基于深度学习算法的输送带跑偏检测也是智能矿山设备视频识别的发展方向之一。

■ 助理编辑：李艾酥

作者简介：

第一作者：董征，博士研究生。

E-mail: 460757110@qq.com

通讯作者：张旭辉，教授，博士生导师。

E-mail: zhangxh@xust.edu.cn

作者单位：西安科技大学机械工程学院；

河南理工大学电气工程与自动化学院；

焦作华飞电子电器股份有限公司

基金项目：国家自然科学基金资助项目(51974228)；国家绿色制造系统集成资助项目（工信部节函〔2017〕327号）；陕西省创新能力支撑计划资助项目（2018TD-032）