

基于机器视觉的煤矿胶带机异物检测与智能预警技术研究

麻佳豪

神东煤炭集团石圪台煤矿 陕西榆林 719315

DOI:10.12238/ems.v7i9.15211

[摘要] 随着煤矿智能化水平的不断提高,煤矿井下运输的关键设备——胶带机的安全、高效运行显得尤为重要。但是,胶带机在运行过程中经常发生异物侵入,给设备造成安全隐患,并导致停机损失惨重。本文针对煤矿胶带输送机运行过程中异物侵入引起的安全隐患与停机损失,开展基于机器视觉的异物检测与智能预警技术研究。然后,采用改进的YOLOv5算法及自适应阈值分割方法,实现了不同形状、大小的胶带机内异物的准确识别。经山西某矿山实际应用,该系统识别异物的准确率达98.2%,检测时间0.32秒,误报率小于1.5%。同时,建立了分级智能预警机制,当检测到有异物时,根据危险程度自动触发声光报警,实现减速停车。

[关键词] 机器视觉; 煤矿胶带机; 异物检测; 智能预警; YOLOv5 算法

引言

近几年来,我国社会飞速发展,社会愈来愈重视煤矿能源的开采,力图通过煤矿资源获得大量经济效益。其中煤矿胶带机作为煤矿开采的重要设备,能够有效提高煤矿开采的效率和质量。胶带机本身具有结构简单、成本低廉的优势,同时能够满足煤矿开采运输的巨大需求,有效减轻工作人员的工作负担,进一步突出设备的自动化、智能化优势。基于这样的影响力,一旦煤矿胶带机在开采过程中出现故障,极不利于煤矿开采质量的提高。对此,相关工作人员需要引起重视,积极提高煤矿胶带机的故障分析质量,并积极对其进行针对性维修处理。近几年来,人工智能与机器视觉技术在工业检测领域展现出巨大的发展潜力。机器视觉具有非接触、高精度、实时等优点,能够快速准确地识别物体。将机器视觉技术应用于煤矿胶带机异物检测中,可有效弥补传统检测方法的不足,实现对胶带机的实时监测与智能预警。

1 煤矿胶带机异物检测与智能预警系统总体设计

基于机器视觉的煤矿胶带机异物检测与智能预警系统主要由图像采集模块、图像处理与分析模块、智能预警模块三大部分组成。图像采集模块采用工业级高清摄像机,根据胶带输送机实际运行状况,在胶带输送机上方5米处安装摄像机(参考《煤矿安全规程》中关于胶带输送机监测设备安装规范),确保胶带输送机工作区域全面覆盖。为了适应煤矿弱光环境,该摄像机还配备了红外补光装置,具有防尘、防水、防爆等功能,能够满足矿井恶劣的工作环境的需求。为了保

证胶带的连续清晰拍摄,采集帧速被设置为25帧/秒。该系统以图像处理与分析为核心,主要完成图像预处理及异物识别^[1]。

2 图像预处理技术

煤矿井下图像采集过程中易受粉尘、光照不均等因素的影响,导致图像质量下降,因此有必要对其进行预处理。首先,采用中值滤波算法对图像进行滤波,根据图像分辨率选择 3×3 的中值滤波窗口大小,既能有效地去除噪声,又能保留图像的边缘信息。针对非均匀光照条件下的图像增强问题,需要采用基于直方图均衡化的图像增强算法。

3 异物识别算法研究与改进

3.1 算法选择

YOLOv5算法具有快速、准确等优点,特别适用于胶带机上的异物检测。在输入端,采用Mosaic数据增强技术,实现4幅图像的随机拼接,丰富数据集的多样性,提高模型对不同场景的识别能力。然后采用Focus结构和CSPDarknet53网络相结合的方法对图像进行快速提取。Neck采用FPN+PAN结构,融合多尺度特征,增强小目标检测能力^[2]。

3.2 算法改进

对YOLOv5算法进行了改进,使其具有较强的适应性,针对井下光照变化剧烈的特点,在模型训练过程中引入自适应照明增强策略,通过随机调整亮度、对比度和饱和度等参数,增强模型对光照变化的鲁棒性。同时针对煤矿胶带输送机中常见异物(石块、木材、金属等)尺寸分布规律,对其进行

优化设计, 提高其对形状不规则、与胶带颜色相近的异物识别精度, 完善锚架机构。

3.3 算法融合

首先, 将改进后的 YOLOv5 算法与自适应阈值分割技术相结合, 然后采用 YOLOv5 算法对图像中的异物进行初步定位。其次采用自适应阈值分割技术, 克服了 YOLOv5 算法在复杂背景下小目标检测精度不高的问题。最后利用灰度统计方法对图像进行分割, 使目标从背景中准确地分离出来, 从而提高检测精度。

4 智能预警机制构建

根据胶带机运行过程中异物的大小和位置, 以及对机器运行的威胁程度, 将胶带机分为三类。第一级报警是指检测到的异物很小, 离胶带机构按键部位很远, 此时仅发出声光报警, 提醒操作者注意; 二级预警是指检测到胶带机械按键部位附近有较大异物或异物, 除触发声光报警外, 还可控制胶带机自动减速运行, 降低异物对胶带机的损坏; 三级预警是指探测到的异物会立即引发严重事故, 比如大块的石块可能会导致胶带破裂, 此时系统会发布紧急停机指令, 同时向煤矿调度中心发送报警信息。然后, 通过模拟实验和现场实验, 确定预警阈值。例如, 在第一级警报中, 当检测到尺寸小于 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的异物, 且离胶带机滚筒、托辊滚筒等关键部件的距离大于 50 cm 时, 触发; 当异物的尺寸在 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \sim 30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 时, 或距离关键部位不足 50 cm 时, 2 级报警; 当异物尺寸大于 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$, 或检测到诸如尖锐的金属部件等危险物体时, 3 级警报将被触发^[3]。

5 系统测试与应用

5.1 测试环境搭建

5.1.1 测试巷道基本参数确定

选用山西某煤矿生产的一台长 1000 m 、宽 1.2 m 、转速 2.5 m/s 的胶带输送机。隧道分为三段水平运输段、两段倾斜运输段, 覆盖了煤矿胶带输送机常见的工作场景, 为系统实验提供了多种真实环境。为保证实验数据的代表性, 本项目通过在巷道不同断面布设多个测点, 实时采集温度、湿度、坡度等参数, 为后续实验提供更全面的环境背景数据。

5.1.2 硬件设备部署方案

图像采集模块选用分辨率 4096×3000 像素、30 帧/秒的海康威视 MV-CE120-30GM 工业相机, 配合 ComputarM0814-MP2 (8 毫米焦距, 光圈范围 $1.4\text{--}F16$), 能清晰地捕捉到胶带表面的细节。在安装设备之前, 技术人员必

须使用专业的激光校准器, 以确保每块工业相机与胶粘机在同一直线上, 高度一致, 不会因角度偏差而影响成像效果。

在胶带机的上方, 每隔 5 m , 安装有 200 个工业摄像头, 确保胶带输送区域没有死角。通过在巷道内安装 LED 灯, 模拟地下弱光环境, 使巷道的最低照度降低到 5 lux 以下; 同时还配备了红外补光系统, 确保在完全黑暗的环境中拍摄清晰的图像。考虑到粉尘较大的井下环境, 所有设备均具有 IP67 保护等级, 并配备可拆卸过滤器。同时, 引进德国 Palas® Fidas 200 型粉尘检测仪, 实现从低尘到高尘环境的多工况实时监控与控制, 实现从低尘到高尘环境的多工况实时监控^[5]。

5.1.3 模拟异物设计与布置

根据《煤矿安全规程》的规定和实际统计数据, 研制了几组模拟异物, 并进行了实验研究。石料为花岗岩, 尺寸为 $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 、 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 、 $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$, 模拟开采过程中掉落的矿石; 选用松木材质, 长度为 15 cm 、 30 cm 、 50 cm , 用来模拟井下的支撑物或杂物; 金属螺栓直径 1 cm , 长度 3 cm , 用于模拟设备维修后残留的部件。在模拟异物放置时, 技术人员必须将异物的位置、角度等详细记录下来, 并将它们对应于胶带机的运行方向。模拟异物均匀分布于胶带机各部分, 包括胶带中部, 边缘及托辊处。同时, 采用机械装置, 以 $0.5\text{ m/s} \sim 2\text{ m/s}$ 的速度对可移动胶带进行随机投放, 模拟实际生产中异物入侵的动力学过程。为了保证投饵速度的准确性, 在投饵前对投饵机构进行了标定, 采用高速摄像技术记录投饵过程。

5.1.4 测试流程阶段划分

实验过程分为基准实验、工作条件模拟实验和极限条件实验。在基准实验阶段, 进行常规光照 (50 lux)、低粉尘浓度 (50 mg/m^3) 和模拟杂质的投放, 获取理想条件下的系统基本性能参数。在数据采集过程中, 系统响应时间及试验结果由专人实时记录, 并由数据采集软件同步保存。在工况模拟实验阶段, 通过逐步调整光照、粉尘浓度等参数, 模拟井下常见复杂作业环境, 验证系统自适应性。技术人员按照预先确定的参数梯度顺序改变环境条件, 在每个工况稳定运行 2 小时后, 再做异物检测实验, 确保系统适应新环境。在极端环境实验阶段, 通过降低光强至 5 lux , 提高粉尘浓度至 500 mg/m^3 , 提高异物投放速度与频率, 验证系统在极端条件下的稳定性与可靠性。在极端条件下进行测试时, 应密切监测设备运行状态, 防止因恶劣环境对设备造成损害。每次测

试时间 24 小时, 每次测试 3 次, 保证测试结果的准确性和重复性。每次测试结束后, 应对测试结果进行初步分析, 如发现异常, 应立即找出原因, 重新测试。

5.2 测试结果分析

5.2.1 整体检测性能数据

经过 72 小时、多种工况的严格检测, 共检出异物 1200 条, 准确率 98.2%, 准确率达 1178 条; 试验时间平均为 0.32 秒, 完全能满足胶带机的实时检测要求; 误报率为 18 次, 误报率小于 1.5%。为了更直观地展示检测性能指标, 给出了检测精度与检测时间、误报率和检测时间的关系曲线, 以反映整个检测过程的稳定性。

5.2.2 不同异物检测准确率对比

结果表明, 对于大小不同的异物, 如 40 cm×40 cm、50 cm 木材等, 其识别率均大于 99%; 而对于小尺寸异物 (5 厘米×5 厘米石块及金属锚栓), 检出率略低, 但仍在 96.5% 以上。通过对条形图数据的分析, 发现不同尺寸的异物检测准确率存在明显差异, 表明改进后的算法可以有效地处理不同尺度的异物。

5.2.3 与传统检测方式对比

与传统的人工巡检相比, 本系统的巡检效率可提高 80% 以上。人工巡视需安排专人每隔 2 个小时对胶带机组进行一次全面检查, 每次检查时间为 30 分钟左右, 人为因素影响较大, 存在漏检的风险。而这套系统, 却是一天二十四小时都能实时监控, 能在第一时间发现异物。为了比较两者之间的差异, 本文给出了手工测试和本系统测试流程的对比表, 比较了两种测试方法在不同条件下的优缺点。与传统的基于哈尔特特征的 Adaboost 方法相比, 该系统的检测精度提高了 25% 以上, 实验证明, 该系统具有良好的应用前景。

5.3 应用效果

5.3.1 经济效益提升

山西某矿经过半年的试用, 取得了较好的经济效益。胶带机由于异物侵入造成的停机次数由一个月 8 次减为一个月 1-2 次, 设备运行效率提高了 15%。其中, 减少了胶带撕裂、托辊损坏等设备维修费用约 120 万元; 减少了因故障停机而导致的产煤损失 150 万元左右; 为用户节约了 30 万元左右的人工检修费。在统计经济效益时, 不仅要考虑直接经济损失的减少, 而且还要考虑设备稳定运行后的设备寿命等潜在经济效益。

5.3.2 安全生产保障

从安全生产的角度看, 该系统的实施, 使安全事故的发生率大大降低。在实际应用中, 3 起可能引起胶带撕裂的严重事故被成功预警并避免, 另外 10 余起可能造成设备损坏的一般事故也被成功地避免。通过对一个重大事故预警案例的分析, 详细阐述了事故发生的过程, 系统的预警流程以及员工的应急行为, 最后通过一个具体的案例来说明系统在安全生产中的重要作用。同时, 该系统还引入了智能化的预警机制, 使得现场操作人员能够及时采取措施, 减少事故处理时间, 保证工人的生命安全。

结语

综上, 本文在前期研究基础上, 提出一种基于机器视觉技术的胶带输送机异物检测与智能预警系统, 通过改进 YOLOv5 算法, 结合自适应阈值分割技术, 解决胶带输送机异物检测的准确性和稳定性问题。实践证明, 该系统可以缩短胶带机的停工期, 提高生产效率和安全性。然而, 现有研究仍有不足之处, 在沙尘天气条件下, 图像质量仍会受到较大影响, 影响检测精度; 对于一些透明或半透明的异物, 需要进一步改进。然后在此基础上, 进一步优化图像采集设备的防尘性能, 并结合激光雷达等多传感器技术, 提高图像采集设备在复杂环境下的自适应能力。

[参考文献]

- [1] 牛雷, 刘晓峰, 郭振振. 煤矿井下胶带机智能化精确控制技术研究[J]. 能源新观察, 2025, (04): 40-41.
- [2] 王建生, 徐其详. 煤矿井下胶带运输系统优化控制[C]//中国煤炭学会煤矿自动化专业委员会, 中国矿山安全学会煤矿监控与通信专业委员会. 第 32 届全国煤矿自动化与信息化学术会议暨第 13 届中国煤矿信息化与自动化高层论坛论文集. 平顶山天安煤业股份有限公司十矿; 2024: 103-106.
- [3] 徐作栋, 吴文彦. 基于智能化技术的煤矿胶带运输异物检测工艺研究[J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60 (08): 150-152.
- [4] 高敏, 李玲, 张辉, 等. 复杂环境下煤矿井下胶带运输异物在线检测算法优化与分析[J]. 煤炭工程, 2024, 56 (06): 174-180.
- [5] 王涛. 机器视觉技术在煤矿胶带运输系统中的应用[J]. 能源科技, 2021, 19 (02): 34-40.