

基于机器视觉的电梯制动器故障检测方法研究

毕立龙

(潍坊市特种设备检验研究院 山东 潍坊 261041)

摘要:为进一步高效检测电梯制动器故障,本次研究中对机器视觉的电梯制动器故障检测方法进行分析。研究中运用 CCD 工业相机采集制动器故障状态下运行的图像,并通过畸变模型校正图像当中存在的畸变现象提升图像的清晰度;使用 Canny 算子对图像进行双边滤波处理,达到对图像有效降噪的效果,在此基础上借用 LeNet5 卷积神经网络构建灰度图像数据集,明确机器视觉电梯制动器故障诊断流程,构建源域数据和目标域数据集。经过验证分析发现,基于机器视觉的电梯制动器故障检测方法可以实现对电梯制动器故障的有效检测。

关键词:机器视觉;电梯制动器;故障检测;卷积神经;数据集

0 引言

电梯是一种常用的特种设备,可以有效提升运输作业的效率。由于电梯长期处于高负载传输作业的状态下,因此使用损耗速度较快,且发生故障的频率更大,若缺少定期的故障检测与管护,会引发一系列安全问题,因此需要对电梯故障进行定期、全面的检测。

电梯制动器是重要的电梯安全装置,可以防止电梯运行过程中的溜车、坠落等情况,让电梯按照既定程序执行启/停,确保电梯的安全运行。制动器频繁参与到电梯的运行中,需要承受电梯自重与电梯运载质量,所以常因频繁磨损而发生故障。据某市电梯安全应急和监控中心电梯故障数据显示,大部分电梯故障是由于制动器故障造成的。因此,运用科学的方式开展电梯制动器故障检测对于维护电梯安全具有重要意义。

机器视觉是一种前沿的故障诊断技术,将机器视觉应用到电梯制动器故障检测中,相比传统的人工检测具有更高的效率。机器视觉系统的原理是通过计算机模拟人的视觉功能,配合使用摄像机获得目标对象的图像,再将图像转换为数字信号输入计算机,提取数字信号中的目标信息数据,以此为判断检测对象的状态提供可靠、量化的依据。通过计算机提取数字化信号以后,可以对检测对象的形态、运动模式进行识别,并依照识别结果对检测对象设备的动作进行详细分析。按照功能对机器视觉系统进行分类,其中典型的机器视觉系统由图像采集部

分、图像处理部分、运动控制部分共同组成。计算机视觉的实质是一种获取图像中目标信息数据的人工智能识别系统,现阶段已经广泛应用于医学、军事、工业、农业等多个领域中。

机器视觉图像采集所使用的相机数量与通信总线类型会对机器视觉实际检测效果造成影响。本次研究中使用的 XW200CCD 工业相机支持现有通信总线,包括现阶段机器视觉常用的工业标准总线 USB3 Vision、GigE Visio。XW200CCD 工业相机可以通过标准 USB3.0、以太网端口来与机器视觉系统连接,并且可以通过集线器或交换机将多台相机连接至同一个机器视觉系统端口。

机器视觉对电梯制动距离进行自动计算,提升计算效率的同时还简化了制动检测流程,提高了制动器检测精度,对于开展高效电梯故障检测具有重要的实践意义。

1 基于机器视觉技术的电梯制动器故障检测

1.1 机器视觉技术

1.1.1 图像采集

机器视觉技术可进一步提升电梯故障检测精度至微米级,由此进一步满足电梯制动器检测高精度检测要求。图 1 所示为视觉检测电梯制动器故障结构图。

使用 XW200CCD 工业相机(深圳市显微精工科技有限公司)采集电梯制动器运行状态图像。相机光源照射电梯制动器,随后将 CCD 电梯制动器成像结果,投射至机器视觉系统中处理图像,实现对电梯制动器的精准故障检测。

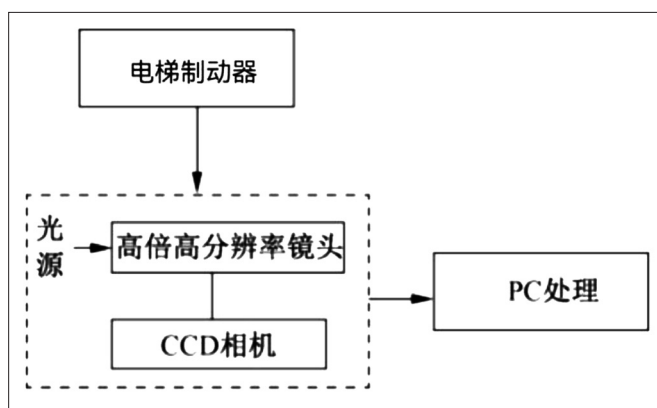


图1 视觉检测电梯制动器故障结构图

1.1.2 畸变模型

为了校正 CCD 相机采集制动器图像过程中存在的畸变现象，本次研究中应用畸变模型对图像进行畸变校正处理。径向畸变会让制动器图像出现径向位置移动偏差，而离心畸变是由于镜头自身造成的一种畸变，畸变点与离心点之间为非线性关系，基于此建立畸变模型：

$$\begin{cases} x = x_d + \alpha_x \\ y = y_d + \alpha_y \end{cases} \quad (1)$$

式中： x_d, y_d —图像投影理想点；

x, y —图像投影实际点；

α_x, α_y —非线性关系畸变误差。

对机器视觉分析 CCD 采集的电梯制动器图像进行畸变校正，构建电梯制动器图像离心畸变模型：

$$\begin{cases} \alpha_{xt}(x_d, y_d) = 2q_1x_dy_d + q_2(r^2 + 2x_d^2) \\ \alpha_{yt}(x_d, y_d) = 2q_2x_dy_d + q_2(r^2 + 2y_d^2) \end{cases} \quad (2)$$

电梯制动器图像径向畸变模型：

$$\begin{cases} \alpha_{xr}(x_d, y_d) = x_d(g_1r^2 + g_2r^4 + g_3r^6 + L) \\ \alpha_{yr}(x_d, y_d) = y_d(g_1r^2 + g_2r^4 + g_3r^6 + L) \end{cases} \quad (3)$$

式(2)、(3)中： q_1, q_2 —电梯制动器图像切向畸变系数；

g_1, g_2, g_3 —电梯制动器图像径向畸变系数；

r —离心半径， $r^2 = x_d^2 + y_d^2$ 。

机器视觉检测电梯制动器故障存在较高的精度要求，使用畸变模型可以有效改善电梯制动器故障检测发生的畸变^[1]。

1.2 双边滤波处理

使用 Canny 算子对图像进行双边滤波处理，

Canny 算子使用高斯滤波方法对图像进行降噪。高斯滤波降噪可能造成图像边缘模糊，从而导致图像细节信息不完整，进而对电梯制动器故障检测精度造成影响^[2]。双边滤波处理实现对图像的有效降噪，保留图像当中所有的边缘像素，使图像的边缘细节显示程度得到实质性提升。双边滤波算法处理像素值：

$$I(i, j) = \frac{\sum_{k,j} [f(k, l) \times \omega(i, j, k, l)]}{\sum_{k,j} \omega(i, j, k, l)} \quad (4)$$

式中： $f(k, l)$ —输入电梯制动器图像像素值；

$I(i, j)$ —输出电梯制动器图像像素值；

$\omega(i, j, k, l)$ —加权系数。

1.3 灰度图像数据集

借用 LeNet5 卷积神经网络构建灰度图像数据集。在 LeNet5 网络当中输入灰度为 32×32 的图像，而从原始故障振动图像当中提取获得的制动器故障位移时域信号是一维向量，因此需要对原始振动位移信号进行编码处理，将原始一维振动位移信号转换为 32×32 的灰度图像。

灰度数字图像当中的每个像素点均有一个值表示颜色，像素值大小区间为 $0 \sim 255$ ，最小的数字说明像素点没有亮度，最大的数字说明该像素点拥有最大的亮度，最大亮度与最小亮度间的差距代表不同阶次亮度值。不同阶次亮度值可以分别代表不同程度的灰色，且不同阶次亮度值间的区别说明灰色程度大小不同。

为构建符合制动器故障检测要求的灰度图像数据集，需要从不同故障类型的原始故障振动图像中提取一维时域位移信号重组矩阵，矩阵重组后可获取 10000 帧图像序列，且提取 10000 个矩阵中的 640 个元素重组为 32×32 的图像矩阵，随后对矩阵中元素开展归一化处理，最终转换为符合 LeNet5 卷积神经网络输入标准的 32×32 灰度图^[3]。对制动器处于 3000r/min、1800r/min、12000 ~ 15000r/min 转速条件下的故障图像进行数据采集，将数据转换为 32×32 灰度图，使灰度图符合网络输入标准要求。

2 基于机器视觉的电梯制动器故障检测

2.1 基于机器视觉的故障诊断流程

CCD 工业相机可以对不同故障状态下电梯制动器图像进行采集，并基于机器视觉提取制动器故障

位移信号，在此基础上构建故障源域数据集。其中，故障源域数据集既可以是同一故障状态下制动器的相同运行状态，也可以是相同故障条件下制动器的不同机械运行状态。

已知源域数据类型标签，未知目标域数据标签，此时对源域数据、目标域数据进行 PCA 降维，以此实现源域数据、目标域数据的学习特征表达，但是无法实现对目标域的有效分类^[4]。因此，使用 JDA 构造共享子空间，在空间中缩小边缘概率分布和条件概率分布，进而让源域、目标区域能够拥有相同的分布特征，并在此基础上使用 KNN 算法分类目标域。

2.2 构建数据集

基于机器视觉对 CCD 工业相机采集的制动器故障图像当中的数据进行提取，并依照提取的故障数据构建源域数据和目标域数据，源域数据和目标域数据分别代表电梯制动器不同的故障工况。其中，源域数据保持不变，而目标区域为凯斯西储大学轴承数据集。表 1 所示为源域数据和目标域数据集。

表 1 源域数据和目标域数据集

数据集	对象	故障类型	转速 / (r/min)	数据样本 / 个	特征数
源域数据	CCD 图像	正常	3000	20	500
		质量不平衡	1800	20	5
目标域数据	凯斯西储大学轴承数据集	质量不平衡	12000 ~ 15000	5	300

源域数据集和目标域数据集构成机器视觉制动器检测的数据总集。其中，源域数据集是转速条件为 3000r/min 条件下 CCD 相机向机器视觉输出的数据。该数据分别在正常、质量不平衡和故障条件下获得。目标域数据集为凯斯西储大学轴承数据集^[5]。源域数据集与目标域数据集各自包括 1 个样本，每个样本包括 500 个加速度信号对应的故障特征，所有故障特征均源自 CCD 相机采集与凯斯西储大学轴承数据集。

- 目标域数据集在制动器三种运行情况下获得：
- (1) 目标域数据集的制动器，基于机器视觉检测的条件下的转速条件为 3000r/min，且正常状态与内圈均发生故障并获取数据，数据样本 20 个，每个样本包括 500 个运行状态下对应的运行特征。
- (2) 目标域样本数据集基于凯斯西储大学轴承数据集构成，此时制动器转速条件为 1800r/min，数据集包括了制动器正常运行、故障条件的运行状态，

样本数 20，其中每个样本有 500 个运行振动特征。

(3) 让电梯制动器处于高速条件下运行，制动器电机转速条件范围 12000 ~ 15000r/min，样本数为 5，运行振动特征 300 个。

3 检测效果验证

3.1 同一故障不同工况下的检测效果

为了进一步全面验证基于机器视觉电梯制动器的机械故障诊断效果，研究中开展检验效果验证分析。对电梯在同一故障状态下的不同工况检测效果进行验证分析。以 CCD 相机获取的制动器采集图像数据为依据，对源域和目标域数据进行选择处理^[6]。基于 CCD 相机获取的制动器采集图像数据，制动器转速保持在 3000r/min 的条件下，提取制动器正常状态与故障状态的运行振动信号，分别在图像的左侧边缘、右侧边缘各自均匀选取 5 个像素点提取信号。

CCD 采集图像序列为 10s、帧率为 1000f/s、分辨率为 768×800。机器视觉提取数据后，每个像素点可以提取的数据数量为 10000 个，并对 10000 个数据滑窗重叠取样，最终每个像素点可获得 5 个样本数据，每个样本数据长度 1800mm，10 个像素点共计获得 50 个样本数据，且每个样本数据的长度均为 1800mm。表 2 所示为基于机器视觉的 CCD 相机图像数据参数。表 3 所示为同一故障条件下不同工况数据集。

表 2 基于机器视觉的 CCD 相机图像数据参数

转速 / (r/min)	图像序列	分辨率	帧率 / (f/s)	长度 / mm	像素点数	样本数 / 个
3000	10	768×800	1000	1800	10	50

表 3 同一故障条件下不同工况数据集

数据集	故障类型	转速 / (r/min)	样本数 / 个	长度 / mm
源域数据集	质量不平衡	3000	100	1800
目标域数据集	质量不平衡	2500	40	1800

3.2 畸变校正

本次研究中在构建数据集的基础上，运用畸变模型对机器视觉技术采集的图像进行校正处理。本次研究中运用机器视觉模型中的畸变模型对 CCD 相机图像采集进行有效的畸变校正，使光心投影误差更加集中。

畸变校正的 CCD 相机采集图像数据将拥有最优

的参数，提升了 CCD 相机标定精度以及电梯制动器的故障检测精度。表 4 所示为电梯制动器故障检测统计结果。由表 4 数据可知，本次研究中使用的电梯制动器故障检测方式理想有效，可以实现对制动器不同检测点故障的精准检测^[7]。

表 4 电梯制动器故障检测统计结果

检测点	故障类型	合格区间 /%	超出标准值	是否合格
1	质量不平衡	0	-0.75	否
2	质量不平衡	0	-0.83	否
3	制动偏差	0	-0.91	否
4	制动力不足	0	-0.68	否
5	异常响动	0	-1.03	否
6	无	100	0	是
7	制动力不足	0	-0.38	否
8	制动偏差	0	-0.54	否
9	无	100	0	是
10	异常响动	0	-0.47	是

4 结语

本次研究应用机器视觉对电梯制动器故障进行检测分析，为了确保检测结果的可靠性，检测中对电梯制动器不同点位进行故障检测，并对电梯不同转速条件下的故障运行状态进行检测，检测结果符合预期电梯故障检测判定标准，使电梯制动器故障可以得到及时检测并维持电梯安全运行状态。相比人工机械检测

电梯制动器故障，应用机器视觉的检测结果精度更高，且检测结果与人工机械测量法检测结果高度吻合，进一步验证了本次研究检测方法的可行性。

参考文献：

[1] 朱红娟，李清碧，马腾飞．机器视觉在线体贴合排线中的应用与故障分析[J]．信息与电脑（理论版），2022，34（12）：100-102.

[2] 黄世鸿．基于机器视觉的输电线路巡检研究[D]．东莞：东莞理工学院，2022.

[3] 张晓辉．基于机器视觉技术的绝缘子图像分割与自爆故障检测[D]．呼和浩特：内蒙古农业大学，2022.

[4] 卫诚琨，周俊，张嘉．基于 CNN 的 FDM 型 3D 打印故障诊断方法[J]．农业装备与车辆工程，2022，60（02）：149-153.

[5] 陈富国，蔡杰，李中旗．基于机器视觉的高压隔离开关设备状态判别与故障诊断技术[J]．微型电脑应用，2022，38（02）：191-194.

[6] 董征，张旭辉，王泰华，等．基于机器视觉的矿用带式输送机跑偏故障检测系统[J]．智能矿山，2022，3（02）：60-65.

[7] 丁毓峰，刘铮儒，胡雷．基于机器视觉和 FMEA 的温控器 PCB 检测实验台研究[J]．实验技术与管理，2021，38（11）：115-120.

作者简介: 毕立龙（1983.02-），男，汉族，山东安丘人，本科，工程师，研究方向：电梯检测。