

计算机视觉技术在机械设备故障检测中的应用研究

钟佳超

宁波财经学院, 浙江 宁波 315175

DOI: 10.61369/TACS.2026070023

摘 要 : 传统的机械设备故障检测采用人工巡检加传感器监测的方式, 存在着检测效率低、精度不高、抗干扰性差等缺陷, 不能满足智能制造下智能化运维的要求。本文主要研究计算机视觉技术在机械设备故障检测中的应用, 分析该技术的工程应用价值, 重点对复杂工况特征提取难、微小故障识别精度低、多源干扰造成检测不稳定等问题进行分析。根据目前存在的问题, 本文提出了多尺度特征增强、抗干扰模型的建立、迁移学习优化等改进方法, 并且给出了实际工程项目的验证方案是否可行的判断依据。研究结果可以提高设备故障智能检测的效果, 给工业机械设备智能化运维提供理论依据和实践借鉴。

关 键 词 : 计算机视觉; 机械设备; 故障检测; 智能运维

Research on the Application of Computer Vision Technology in Mechanical Equipment Fault Detection

Zhong Jiachao

Ningbo University of Finance & Economics, Ningbo, Zhejiang 315175

Abstract : Traditional mechanical equipment fault detection adopts the method of manual inspection combined with sensor monitoring, which has defects such as low detection efficiency, insufficient accuracy, and poor anti-interference ability, failing to meet the requirements of intelligent operation and maintenance under intelligent manufacturing. This paper mainly studies the application of computer vision technology in mechanical equipment fault detection, analyzes the engineering application value of this technology, and focuses on investigating the key problems including difficulty in feature extraction under complex working conditions, low recognition accuracy of micro-faults, and unstable detection caused by multi-source interference. In response to the existing problems, this paper proposes improved methods such as multi-scale feature enhancement, establishment of anti-interference models, and transfer learning optimization, and provides judgment criteria for the feasibility of verification schemes in actual engineering projects. The research results can improve the effect of intelligent detection of equipment faults, and provide theoretical basis and practical reference for the intelligent operation and maintenance of industrial mechanical equipment.

Keywords : computer vision; mechanical equipment; fault detection; intelligent operation and maintenance

伴随着智能制造工业体系的不断升级, 大型机械设备被广泛地应用到各个生产领域当中, 设备稳定运行是提高生产效率、降低成本的关键。机械设备长时间高负荷运转容易产生磨损、松动、形变等故障, 传统的手工巡检、传感器检测方式存在效率低、主观性强、漏检率高、实时性差等问题, 不能满足现代工业高精度、自动化检测的要求。在此情况下, 具有高效性和精确性的计算机视觉技术成了设备故障检测的新途径。依靠图像采集和智能分析的能力, 可以对设备故障进行非接触式的实时检测, 很好地克服了传统检测技术的不足, 给机械设备智能化运维提供了重要的技术支持^[1]。

一、计算机视觉技术在机械设备故障检测中的应用意义

在机械设备运维体系中加入计算机视觉技术来执行故障检测, 有着十分重要的工程应用价值以及学术研究意义。该技术克服了传统检测手段依靠人工经验、接触式监测的缺点, 可以适应

各种复杂的工业作业环境, 对设备表面的损伤、零部件的异常、运行的偏离等故障做标准的、智能化的识别^[2]。一方面可以大大提高故障检测的准确率和速度, 提前发现设备存在的隐患, 减少由于设备停机造成的经济损失; 另一方面可以促使机械设备运维模式由被动的事后维修转向主动的预判性维护, 促进工业生产运维的自动化、智能化发展, 为工业设备智能检测体系的完善提供技

术支持^[3]。

二、计算机视觉技术在机械设备故障检测中的应用难点

（一）复杂工况下特征精准提取难

工业现场机械设备运行环境具有很强的复杂性、不确定性，给视觉图像信息的有效采集和特征提取造成很大的影响。生产车间光照强弱不同，光线反射、烟尘遮挡、油污覆盖都会造成设备采集的图像对比度不好、细节不清、缺少有效信息。机械设备结构多为一体化、集成化，各种零部件交错排列，设备表面纹理、结构轮廓高度重叠，使故障有关的有效图像特征被大量的无关背景信息所覆盖^[4]。现有的视觉特征提取算法对于复杂的场景自适应适配性较差，不能很好地去除冗余干扰信息，不能准确地找到设备异常对应的主要特征参数，很容易造成特征提取片面化、无效化，大大降低了后续故障识别和判定的可靠性^[5]。

（二）微小故障特征辨识精度低

机械设备早期故障大多表现出来是细微而又隐蔽的异常状态，所对应的视觉特征信号比较微弱、辨识度不高，给智能检测工作造成了极大的困难。设备运行过程中出现的轻微磨损、细微裂纹、微小形变、螺丝轻微松动等早期缺陷，在图像维度上所占的表征范围很小，其特征灰度变化、轮廓偏移幅度很难被常规视觉检测系统察觉。微弱故障特征很容易被混入设备正常表面纹理和图像噪声当中，现有的视觉识别模型对于细粒度特征的感知和解析能力较弱，不能实现精细特征区分和量化判定^[6]。同时大多数检测模型是用显著故障样本进行训练优化的，对于微量、隐性的异常样本拟合度不高，很容易造成隐性故障漏判、误判，不能满足设备早期故障预警和精准检测的实际运维要求。

（三）多源干扰致检测稳定性差

机械设备视觉故障检测系统运行过程中会受到很多种、多种类的干扰因素叠加的影响，造成整个检测稳定性和通用性大大降低。工业生产环境中由于设备高频振动会导致图像采集设备出现抖动现象，从而造成采集到的图像画面变得模糊不清，并且还存在着帧间的位移情况，进而影响到了图像数据的完整性和稳定性。车间温湿度改变、粉尘积聚、设备表面的污渍附着等外部环境因素，一直干扰图像采集的质量，造成同一个设备状态下的图像特征出现动态变化^[7]。另外机械设备运行姿态微调、作业角度改变、生产工况转换等动态因素都会造成检测视角、成像距离不断改变。现有的视觉检测模型抗干扰能力及泛化性能较低，不能适应工况动态变化造成的特征波动，检测结果容易出现持续性的偏差，不能实现长期、稳定的精准设备故障检测。

三、计算机视觉技术在机械设备故障检测中的应用策略

（一）融合多尺度特征的增强算法

为解决工业复杂环境中设备故障特征提取不完全、细节被丢

失的问题，采用多层特征融合优化算法架构来提高图像特征提取能力，并加强机制。该优化方式依靠深浅层特征联动融合的思想，对图像底层纹理信息、中层结构信息和高层语义信息做分层提取并加以整合，从而克服单个尺度特征提取的不足^[8]。通过给图像细节特征赋权重来减弱背景冗余信息对图像的干扰，增强设备异常区的特征表现力，改善复杂的工况下有效特征的隐藏和细节模糊的现象。同时配合图像预处理优化机制，对采集到的图像亮度、对比度、噪声进行统一调整，改善图像整体质量，使模型可以更加准确地识别出各种粗细、各种方向的设备异常特征，从算法上提高故障识别的全面性、准确性。

比如，在重型机械生产设备智能故障识别项目中，技术人员要依靠多层级特征融合和图像增强算法来执行设备故障检测优化任务。项目检测对象为车间大型传动机械设备，设备长时间处在多粉尘、光照不均、零部件密集重叠的复杂生产环境中，常规检测算法很难提取出有效的故障特征，很容易造成故障漏检。项目实施阶段技术人员搭建起深浅层双联动特征融合框架，对设备图像底层纹理细节、中层结构轮廓、高层语义特征进行采集，对采集到的特征进行拼接、整合处理。针对现场光照失衡、粉尘遮挡造成的图像模糊问题，部署自适应图像预处理模块，动态调节图像对比度和亮度参数，去除画面中的噪声和冗余背景信息。提高设备异常区特征权重，改善小的损坏、结构错位这些微小故障的视觉效果，防止复杂工况中有效特征被掩盖。项目落地之后，设备表面磨损、构件偏移等故障的识别完整度明显提高，很好地解决了复杂工业环境下特征提取失效、检测精度不够的行业难题。

（二）构建抗干扰鲁棒视觉模型

为了克服由于工业多源环境干扰造成的检测精度下降问题，可以从模型结构以及训练方法两方面入手来提高视觉检测系统对环境的适应性以及稳定性。模型优化过程中可以加入自适应降噪、特征校正模块来解决由于图像采集引起的模糊、偏移、噪声干扰等造成的图像特征不稳定的问题^[9]。采用嵌入动态特征归一化的方法，对不同工况、不同视角下设备图像特征进行统一校准，消除由于设备姿态、拍摄角度、环境参数的变化所引起的特征波动。同时对模型特征约束进行优化，提高有效故障特征权重占比，降低无效干扰信息响应程度，使检测系统可以适应复杂的工业生产环境，不断给出稳定的、准确的故障识别结果^[10]。

比如，在工业流水线机械设备视觉巡检优化项目当中，技术人员要创建高鲁棒性检测模型来应对多源环境干扰引发的检测稳定性难题。该项目包含多台连续作业的自动化加工设备，设备运行时会产生高频机械振动，车间温湿度动态变化、粉尘不断堆积、拍摄角度随着设备工作状态而变化，传统的视觉模型检测结果容易出现波动，不能满足常态化精准巡检的要求。项目团队根据各种干扰因素的作用机理，对基础视觉检测模型进行结构迭代升级，加入自适应降噪和画面校正模块，实时修正由于设备振动造成的图像模糊、帧间偏移等现象。采用全局特征归一化处理的方式，对各个时间段、各个角度采集到的设备图像特征进行统一的校准，消除由于环境变量和拍摄偏差所造成的特征数据波动。同时改变模型特征响应阈值，弱化污渍、粉尘等干扰信息的识别

权重,突出设备构件形变、连接异常等主要故障特征。经过多次样本迭代训练后,模型的环境抗干扰性显著提高,可以适应流水线动态作业情况,保证全天候稳定的精确故障检测。

（三）引入迁移学习提升泛化能力

就视觉模型对于隐性、微小故障的识别能力不够强、场景适应性差的缺点而言,依靠迁移学习的方法改善模型训练过程中的限制状况。该种训练方式可以把通用图像数据集训练得到的基础特征提取能力迁移到工业设备故障检测任务上,利用已有的视觉特征解析能力来降低模型从零开始训练所造成的资源浪费和误差累积。经过参数微调以及特征适配训练,使得通用视觉特征和工业设备故障特征之间可以深层次地结合在一起,从而提高模型对于细微的、隐藏的异常特征的识别水平。使用领域自适应迁移策略来缩小不同的设备、不同的工况场景之间数据分布的差异,提高模型对于陌生检测场景、缺少故障样本的适应性,进而提升检测模型的泛化能力以及工程应用价值。

例如在精密机械设备早期隐性故障智能检测项目当中,技术人员要用到迁移学习机制来改进模型性能,解决微小故障样本缺乏、场景泛化能力差的行业难题。该项目建设的检测设备为精密加工器械,设备早期故障主要是细微裂纹、轻度磨损、微小构件偏移等隐性缺陷,这类故障样本采集困难、有效数据量少,传统的模型由于训练样本数量少、场景适应性差,不能达到准确识别的目的。在项目执行期间,技术人员挑选了大批量的通用视觉数据集展开基础模型预训练,很好地发掘出了模型的普遍纹理以及

轮廓特征提取才能,避免由于重新开始训练而造成的效率低落和误差累积状况。根据精密设备的故障特征特点,对预训练模型进行领域自适应微调,改变网络参数和特征映射规则,使通用视觉特征和工业精密设备隐性故障特征得到较好的匹配。通过跨领域迁移策略来弥补工业中由于缺少故障样本而造成的数据不足问题,使模型能够对微小故障的细节特征有一个全面的认识。经过改进后的模型可以准确地发现各种早期的隐性故障,并且可以适应各种型号精密设备的检测环境,大大提高智能检测系统工程适用性和实用性。

四、结语

因此,本文主要研究了计算机视觉技术在机械设备故障检测中具体的运用价值和实践途径,对工业设备巡检中使用该技术的意义进行了系统地梳理。文章主要对复杂工况特征提取难、微小故障识别不准、多源环境干扰造成的检测不稳定等核心技术问题进行了分析,并且根据工业现场的实际运行情况提出了多尺度特征增强算法、抗干扰鲁棒模型建立和迁移学习赋能优化三种适合的使用方法。并且用具体的工程项目来检验各种优化方案是否可行、有效。本文有效地解决了传统设备检测模式的不足,完善了智能化故障检测的技术思路,可以给工业机械设备智能运维体系的优化、检测效率和精度的提高提供可靠的理论和实践上的参考。

参考文献

[1] 刘洞. 面向机械设备故障的实体识别与知识融合技术研究 [D]. 甘肃: 西北师范大学, 2024.

[2] 王丽. 面向机械设备故障诊断的命名实体识别技术研究 [D]. 甘肃: 西北师范大学, 2024.

[3] 荣洪国. 机械电气设备维修中的故障诊断和解决措施 [J]. 模具制造, 2024, 24(5): 243-245. DOI: 10.13596/j.cnki.44-1542/th.2024.05.078.

[4] 张大宇. 计算机技术在农业机械智能化管理中的应用研究 [J]. 南方农机, 2026, 57(3): 195-198. DOI: 10.3969/j.issn.1672-3872.2026.03.052.

[5] 牛玉圣. 计算机技术在农业机械安全管理中的作用 [J]. 南方农机, 2026, 57(3): 159-162. DOI: 10.3969/j.issn.1672-3872.2026.03.042.

[6] 卓毅刚. 基于间歇性信号分析的机械设备故障诊断研究 [D]. 杭州电子科技大学, 2025.

[7] 丁国珍. 面向机械设备故障报告的信息抽取技术研究 [D]. 甘肃: 西北师范大学, 2025.

[8] 杨淑梅. 基于无监督学习的机械设备声音异常检测方法研究 [D]. 齐鲁工业大学, 2025.

[9] 郑凡帆. 基于深度学习的机械设备故障预警与诊断技术研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2020.

[10] 于琦. 机械制造设备远程监控与故障鉴别方法分析 [J]. 设备管理与维修, 2018(6): 51-52. DOI: 10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2018.03D.29.