

# 基于机器视觉的口岸车道闸机 抬杆故障远程检测方法

李军<sup>1,2</sup>, 蔡屹<sup>1,2</sup>, 谷鹏<sup>2</sup>, 慕容澈鼎<sup>2</sup>

(1. 深圳市检验检疫科学研究院, 深圳 518045; 2. 深圳海关信息中心, 深圳 518045)

**摘要:** 由于口岸车道闸机运行时间较长, 噪声信号会逐渐掩盖真实信号, 从而造成信号混合行为的出现, 导致口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测精度降低; 为此, 提出基于机器视觉的口岸车道闸机抬杆故障远程检测方法; 利用 CCD 传感器, 最大化扫描复原口岸车道闸机抬杆机械动作故障信号, 并对关键应用镜头设备进行选型处理, 完成机器视觉检测的硬件结构设计; 输入口岸车道闸机的远程故障图像, 按照图像配准原则, 得到具体的直方图修正处理结果, 拼接与预处理远程故障图像; 在此基础上, 分析口岸车道闸机抬杆机械动作实际故障特征, 通过信号参量非均匀采样的方式, 对检测盲源进行分离, 再联合故障信号输出信噪比数值, 实现口岸车道闸机抬杆机械动作故障远程检测; 实验结果表明, 基于机器视觉的检测方法的口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测准确率可达 90.4%, 固有模式函数 (IMF, intrinsic mode function) 分量值较大, 可有效抑制噪声信号对真实信号的覆盖影响, 提高口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测精度。

**关键词:** 机器视觉; 口岸车道闸机; 闸机抬杆; 故障检测; 直方图修正; 检测盲源; 信噪比

## Remote Detection Method of Lifting Rod Fault of Port Lane Gate Based on Machine Vision

LI Jun<sup>1,2</sup>, CAI Yi<sup>1,2</sup>, GU Peng<sup>2</sup>, MURONG Haoding<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Academy of Inspection and Quarantine, Shenzhen 518045, China;

2. Shenzhen Customs Information Center, Shenzhen 518045, China)

**Abstract:** Due to the long operation time of the port Lane gate, the noise signal will gradually cover up the real signal, resulting in the emergence of signal mixing behavior, resulting in the reduction of the fault detection accuracy of the mechanical action of the lifting rod of the port Lane gate. Therefore, a remote detection method of lifting rod fault of port Lane gate based on machine vision is proposed. The CCD sensor is used to maximally scan and recover the mechanical action fault signal of the lifting rod of the Port Lane gate, select and process the key application lens equipment, and complete the hardware structure design of the machine vision detection. Input the remote fault image of the Port Lane gate, obtain the specific histogram correction processing results according to the image registration principle, and splice and preprocess the remote fault image. On this basis, the actual fault characteristics of the lifting rod mechanical action of the Port Lane gate are analyzed. The detection blind sources are separated by means of non-uniform sampling of the signal parameters, and then combined with the fault signal to output the signal-to-noise ratio value to realize the remote detection of the lifting rod mechanical action fault of the Port Lane gate. The experimental results show that the detection accuracy of the mechanical action fault detection of the lifting rod of the Port Lane gate based on the machine vision detection method can reach by 90.4%, and the component value of intrinsic mode function (IMF) is large, which can effectively suppress the influence of the noise signal on the coverage of the real signal and improve the fault detection accuracy of the mechanical action of the lifting rod of the Port Lane gate.

**Keywords:** machine vision; Port Lane gate; gate lifting rod; fault detection; histogram correction; blind source detection; signal to noise ratio

## 0 引言

口岸车道闸机是一种管理型通道阻挡装置, 可用于规范车辆的出入行为。在应用过程中, 车道闸机设备的一次开关只允许一辆车通过。在机芯、控制模块等多个元件结

构的配合下, 部分噪声输出信号会与原始真实信号混合在一起, 但由于远程传输环境的复杂性与多变性, 这些信号的表现特征也会随之出现改变。上述情况的频繁发生, 不但会造成真实信号传输速率的快速下降, 也会导致口岸车

收稿日期: 2021-08-06; 修回日期: 2021-09-23。

基金项目: 国家重点研发计划课题(2018YFC0809105)。

作者简介: 李军(1975-), 男, 云南昆明人, 大学本科, 研究员, 主要从事电子信息技术研究。

引用格式: 李军, 蔡屹, 谷鹏, 等. 基于机器视觉的口岸车道闸机抬杆故障远程检测方法[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(3): 19-24.

道闸机出现明显的抬杆机械动作故障。因此,准确检测道闸机抬杆机械动作故障具有重要意义。

当前 Hilbert 谱图特征检测法通过故障信号传输特征分析的方式,将真实信号与噪声信号分别排列出来,再借助 Hilbert 谱系结构,实现对检测参量的集中提取。然而与此方法匹配的 IMF 分量值水平过低,并不能完全有效地抑制噪声信号的分布行为<sup>[1]</sup>。机器视觉是人工智能领域的关键分支技术,是以机器设备代替人眼进行判断与测量的处理方法。对于不同的机械型应用系统来说,机器视觉技术可借助 CCD、CMOS 两种类型的图像摄取装置,将所采集到的摄像目标直接转换为图像信号的存在形式,并可在同一时间,将这些数据信息参量反馈到图像处理主机,一方面准确记录了被摄目标各类形态信息,另一方面也使得亮度、颜色、像素分布等信息条件,能够最大化保持其设置真实性<sup>[2-3]</sup>。在进行目标特征抽取时,机器视觉技术能够通过信号行为分析的方式,判别机械设备的现场动作结果,往往随着行为灵活性程度的提升,设备元件的自动化水平也会逐渐增强,这也是机器视觉型检测方法能够大大提升机械设备生产效率的主要原因。

针对上述问题,提出了基于机器视觉的口岸车道闸机抬杆故障远程检测方法,利用 CCD 传感器,完成机器镜头设备的选型处理,再通过修正远程抬杆机械动作故障直方图的方式,得到最终的检测信号盲源分离结果。

## 1 机器视觉检测的硬件设计

口岸车道闸机抬杆机械动作故障的机器视觉检测结构包含 CCD 传感器和应用镜头两类物理元件,本单元将针对上述设备结构展开研究。

### 1.1 CCD 传感器

CCD 传感器包含面阵 CCD、线阵 CCD 两类操作形式,且二者在物理性能、感光单元排列行为等方面均具有较大区别。一般情况下,线阵 CCD 感光单元的覆盖范围最大不会超过 3 列,但由于每一种感光单元的光敏能力都很强,因此该类型传感器对于口岸车道闸机抬杆机械动作故障信号的检测强度可达到 10 000 以上,这也是机器视觉检测始终具备大范围精确感知的主要原因<sup>[4-5]</sup>。针对口岸车道闸机的抬杆机械动作故障信号,CCD 传感器在扫描过程中,生成的所有图像都只能保持二维成像形式,且为保持高度垂直的扫描状态,线阵 CCD 必须在面阵 CCD 的配合下,才能实现对口岸车道闸机抬杆机械动作故障信号的最大化扫描复原。CCD 传感器的扫描运动如图 1 所示。

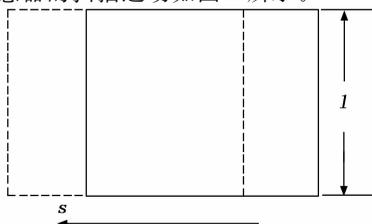


图 1 CCD 传感器的扫描运动示意图

图 1 中,实线正方形框代表初始成像时被测信号的所处位置,虚线正方形框代表一次成像结束时被测信号的所处位置,实线箭头指示 CCD 传感器扫描运动的实际行进方向。

由于扫描运动,CCD 传感器在进行抬杆机械动作故障检测信号成像时,会沿运动方向产生一段位移  $s$ ,进而会导致单位成像区域面积  $S$  的不断增大,二者与机器视觉扫描速度  $v$  和成像时间  $t$  之间的表达关系如下:

$$\begin{cases} s = vt \\ S = l^2 + lvt \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $l$  表示抬杆机械动作故障信号的待测长度。

### 1.2 应用镜头选型

在机器视觉理论中,信号检测镜头主要由透镜组和光阑两部分组成,且二者相互配合,能够实现对口岸车道闸机抬杆机械动作故障信号的准确检测与分析。

1) 透镜:镜头组中至少应包含一个透镜结构,且为实现对口岸车道闸机抬杆机械动作故障信号的有效采集,整个镜头组应由若干凹透镜、凸透镜共同组成,这在消除像差、降低图像畸变方面具有重要的应用意义<sup>[6]</sup>。

2) 光阑:光阑是以圆形通光孔为中心的金属薄片结构,用来约束经过镜头的传输光束,可在提高信号光束通过速率的同时,抑制其他干扰光束的进入。应用镜头基本结构如图 2 所示。

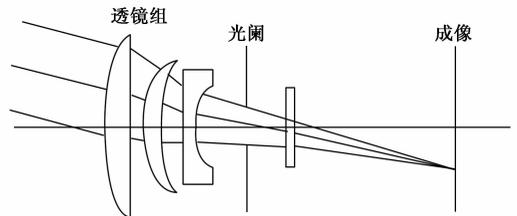


图 2 应用镜头基本结构

大多数信号检测镜头的放大倍数与工作距离都是始终保持不变的,因此,检测焦距数值也应是固定的。但针对口岸车道闸机抬杆机械动作故障信号,CCD 传感器的测量能力无法始终保持稳定,故而应选取适应能力更强的可变量镜头结构<sup>[7]</sup>。设  $f$  表示信号检测镜头的焦距数值, $\eta$  表示镜头元件的放大倍数,联立公式 (1),可将物距  $D$  与上述物理量之间的数值关系表示为:

$$D = \frac{f(1+s)}{S\eta} \quad (2)$$

## 2 远程故障图像的拼接与预处理

结合机器视觉检测理论,按照图像输入、图像配准、直方图修正的操作流程,完成口岸车道闸机抬杆机械动作故障图像的拼接与预处理。

### 2.1 输入图像

输入图像也就是 CCD 传感器所需拼接的口岸车道闸机抬杆机械动作故障信号图像,考虑到信号图像的拼接精度与效率,所有输入图像都要满足如下需求。

1) 相邻信号图像之间必须保留有足够的可重叠区域,这样才能为后期的故障信号检索提供足量的待匹配信息,且待匹配的信息参量越多,最终输出图像中可能包含的故障噪点数量也就越多<sup>[8-9]</sup>。

2) 待拼接故障信号的图像应具有相同或者极度相近的数据格式。

考虑到上述影响因素,并结合机器视觉理论,确定每次拼接处理的操作图像数量不应大于4个。在输入图像时,4个操作图像不仅能够使彼此之间的重叠区域得到保护,而且也可实现对原始图像灰度氛围的较好营造。拼接前口岸车道闸机远程故障的输入图像如图3所示。

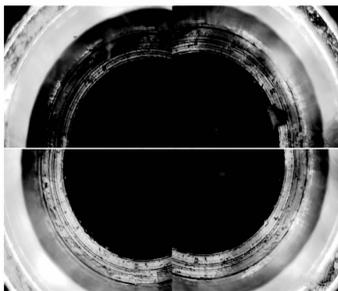


图3 拼接前口岸车道闸机远程故障的输入图像

图3中,包含远程故障信号节点的未拼接输入图像,明显模糊的像素区域标注了远程故障信号节点的实际所处位置。

## 2.2 图像配准

图像配准就是通过提取拼接后口岸车道闸机抬杆机械动作故障输入图像的共有特征,并按照机器视觉原理,对其进行后续的节点匹配处理,从而使得远程故障信号图像与真实信号图像完全分离开来,帮助应用主机在较短时间内获得最为直观的检测处理方案<sup>[10]</sup>。一般来说,故障输入图像的配准原则可分为灰度信息处理、变换域处理、特征处理3个操作方向。

1) 基于灰度信息处理的图像配准原则:

口岸车道闸机抬杆机械动作故障输入图像的灰度信息能够表示特征参量的多项数值内容,如特征边缘位置、特征点个数等。在机器视觉技术的支持下,两个相邻口岸车道闸机抬杆机械动作故障输入图像的重叠部分往往包含大量相同的特征信息,因此在执行灰度信息提取处理时,就需要针对这些相同参量进行定向匹配,再通过计算数值分辨的方式,建立准确的图像配准原则。

2) 基于变换域处理的图像配准原则:

将输入口岸车道闸机抬杆机械动作故障输入图像的特征信息提取出来后,即可对其中的变换域条件进行分析,由于每种特征所具备的信号反馈能力不同,因此检测变换域必须是一个储备量极大的集合空间<sup>[11]</sup>。

3) 基于特征处理的图像配准原则:

基于特征处理的口岸车道闸机抬杆机械动作故障输入图像配准原则遵循尺度不变的处理条件,在已完成复原图

像拼接的情况下,默认原始图像中的所有故障信息特征都已得到完全检测。拼接后不包含故障信号的检测图像如图4所示。

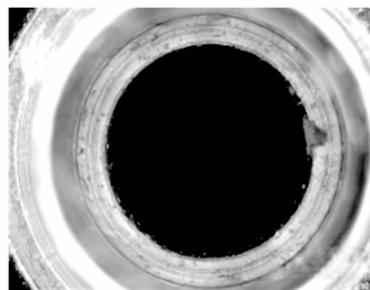


图4 拼接后不包含故障信号的检测图像

## 2.3 直方图修正

直方图修正就是通过建立灰度值映射关系的方式,将口岸车道闸机抬杆机械动作故障输入图像转换为包含像素点的输出图像,也就是远程故障信号在输出图像中始终保持相对均匀的存在状态。作为故障检测条件的重要表现方式,图像直方图修正结果不仅有助于增强检测图像的视觉表达效果,而且也可将原始图像与检测后图像完全匹配<sup>[12-13]</sup>。对于口岸车道闸机的抬杆机械动作故障检测图像来说,直方图修正策略的存在,更像是对故障节点处特征信息参量的检索与处理,在机器视觉理论的影响下,口岸车道闸机运行行为会受到检测主机的高度关注,特别是在故障问题频繁发生的过程中,完整且无误的故障生成图像不但有利于检测指令的制定,也可实现对故障状态的准确复原。

## 3 基于机器视觉的口岸车道闸机故障抬杆远程检测方法

联合远程故障图像的拼接与预处理原则,按照故障特征分析、故障信号非均匀采样、检测盲源分离、故障信号输出信噪比计算的操作流程,完成基于机器视觉的口岸车道闸机故障信号细化,实现基于机器视觉的口岸车道闸机故障远程检测。

### 3.1 故障特征分析

口岸车道闸机的抬杆机械动作故障行为由转子不平衡、转子不对中、动静碰摩三类特征形式共同组成。其中,转子不平衡是口岸车道闸机远程故障的常见失效因素,主要表现在电动机或光电传感器元件之中,当转子I、转子II出现旋转误差时,摩擦螺丝会远离其原始存在位置,并不断向着传感器安装孔方向靠近,从而使得联轴节的磨损程度加重,造成口岸车道闸机出现不平衡运作状态<sup>[14]</sup>。转子不对中是造成口岸车道闸机抬杆机械动作运行故障的行为之一,在机器元件呈现明显不对称状态的情况下,联轴节会产生较大的运动位移,而由于光电传感器执行能力并不直接受到电动机元件的影响,未被识别的远程故障信号会在安装孔内大量累积,从而对两个物理转子的运动行为造

成抑制性影响作用<sup>[15]</sup>。动静碰摩是指在高速转动的口岸车道闸机中，由于密封间隙的存在，转子 I、转子 II 之间的转动行为很难完全匹配，且随着摩擦系数的改变，闸机元件的振动行为也会受到严重影响。口岸车道闸机的结构形态如图 5 所示。

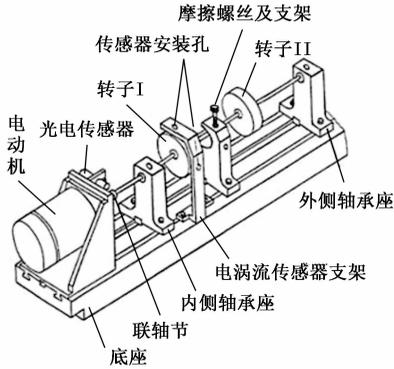


图 5 口岸车道闸机的结构形态

### 3.2 故障信号的非均匀采样

在机器视觉原理的作用下，由于故障特征形式的不同，一部分信号参量极易陷入相对混乱的排列状态，在此情况下，故障噪声信号与真实信号杂糅在一起，从而导致非均匀采样环境的出现。若故障信号的采样频率过低，则会导致口岸车道闸机抬杆机械动作故障信息出现明显畸变行为，并最终导致故障信号出现一定强度的混叠形态；若故障信号的采样频率过高，则会导致口岸车道闸机抬杆机械动作故障信息出现整齐的频率划一状态，若此情况长期延续下去，则会导致故障信号的采样频率出现整数倍递增的情况<sup>[16-17]</sup>。设  $P$  代表既定的道闸机抬杆机械动作故障信号采样权限值， $\bar{I}$  代表口岸车道闸机抬杆机械动作故障信号的非均匀性提取特征值， $\lambda$  代表故障信号特征参量的混叠强度指标，联立公式 (2)，可将口岸车道闸机抬杆机械动作故障信号的非均匀采样结果表示为：

$$A = \frac{|P - D \times \lambda \bar{I}|}{\text{Int}\left(\frac{2k}{\beta y}\right)} \quad (3)$$

式中， $k$  代表口岸车道闸机抬杆机械动作故障信号的单次采样频率值， $\beta$  代表基于机器视觉理论的故障信号协调度量值， $y$  代表故障信号的特征形式量化差值。

### 3.3 检测盲源分离

在口岸车道闸机抬杆机械动作故障远程检测的过程中，通过 CCD 传感器所获取的原始信号参量不可避免地会混入噪声杂质，且随着闸机设备运行时间的延长，这些噪声信号的储备总量也会不断增大。若长期维持上述局面，不但会使直方图修正结果出现较大理论偏差，也会造成故障信号非均匀采样行为失去其原有价值<sup>[18-19]</sup>。检测盲源分离是一种有效的噪声信号提取与去除手段，可在故障融合信号中，分别对原始信号参量、故障远程检测信号、杂质信号参量进行分别度量，再根据已知的非均匀采样条件，确定

各类信号的实时储备量<sup>[20]</sup>。具体的分离处理流程如图 6 所示。

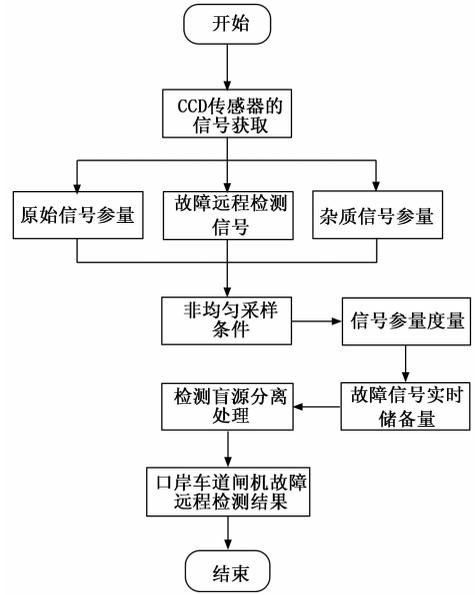


图 6 检测盲源分离流程图

假设  $c_0$  代表故障检测源节点的初始位置坐标， $c_n$  代表故障检测源节点的终止位置坐标， $n$  代表口岸车道闸机远程故障信号的检测度量条件，联立公式 (3)，可将检测盲源分离表达式定义为：

$$X = \frac{\int_{c_0}^{c_n} e^{-\mu} A \hat{g}}{n \times \Delta T} \quad (4)$$

式中， $e$  代表故障检测信号的存储量实值， $\mu$  代表杂质信号度量系数， $\hat{g}$  代表故障信号盲源的标准测定系数， $\Delta T$  代表故障远程检测指令的单位执行时长。

### 3.4 故障信号输出信噪比

故障信号输出信噪比是一个定向矢量指标，可在已知检测盲源分离条件的基础上，确定已输入机器视觉图像中，故障信号参量与原始信号参量间的数值配比关系，进而实现对口岸车道闸机抬杆机械动作故障行为的准确排查与分析<sup>[21-22]</sup>。为获得更为准确的故障检测结果，应选取两个不完全相关的信号筛查节点作为最基本的故障考核条件，在数值处理过程中，逐渐缩小上述两个参考节点之间的物理距离，从而使得信噪比参量计算结果逐渐趋近于真实数值。假设  $R_1$ 、 $R_2$  代表两个不同的信号筛查节点定义项数值， $\bar{R}$  代表  $R_1$  与  $R_2$  物理均值， $\epsilon$  代表既定的故障信号输出系数，联立公式 (4)，可将故障信号输出信噪比计算结果表示为：

$$J = \frac{\theta X q}{\int_{v_{\min}}^{v_{\max}} (R_2 - R_1)^{1/\epsilon} dR} \quad (5)$$

式中， $\theta$  表示故障信号参量与原始信号参量间的实值配比系数， $q$  表示故障信号参量的检测矢量数值， $v_{\min}$  代表最小的检测指令定义项， $v_{\max}$  代表最大的检测指令定义项。至此，完

成各项理论系数的计算与处理, 在机器视觉理论的支持下, 实现口岸车道闸机故障远程检测。

### 4 实验结果与分析

为了验证基于机器视觉的口岸车道闸机抬杆故障远程检测方法的有效性, 避免突发事件对实验结果真实性造成的影响。在实验开始之前, 应通过人工筛查的方式, 对口岸车道闸机设备的应用能力进行测试。在确保口岸车道闸机设备的应用能力可长时间保持稳定状态后, 取出原设备中的转子元件, 并将其置于如图 7 所示的机械检测平台之中。

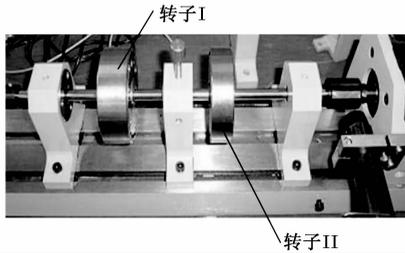


图 7 转子结构的故障能力检测

将口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测准确率和 IMF 分量作为实验指标。口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测准确率指的是对口岸车道闸机抬杆机械动作故障表达或描述的正确程度, 能够有效反映口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测精度, 故障检测准确率越高, 表明故障检测精度越高。其表达式为:

$$A_{cc} = \frac{G_g}{D_d} \times 100\% \quad (6)$$

式中,  $G_g$  表示正确检测机械动作故障数量,  $D_d$  表示总的迭代次数。

设置迭代次数为 300 次, 针对闸机未开启或关闭、未开启或关闭到位、闸机未抬、降杆等 6 种故障类型, 分别采用此次提出的基于机器视觉的检测方法和当前 Hilbert 谱图特征的检测方法, 对口岸车道闸机抬杆机械动作故障进行检测, 对比不同方法的口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测准确率如图 8 所示。

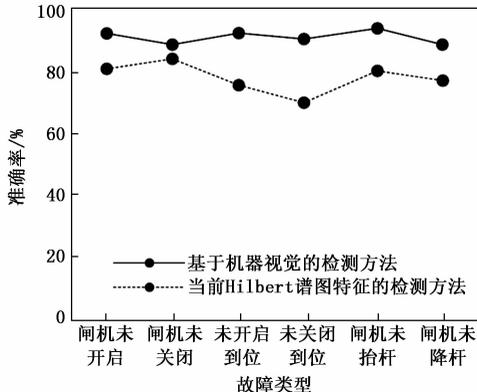


图 8 不同方法的口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测准确率

根据图 8 可知, 当前 Hilbert 谱图特征的检测方法的闸机未关闭故障检测准确率较高, 可达到 82.4%, 而基于机器视觉的检测方法的闸机未抬杆故障检测准确率较高, 可达到 93.6%。针对 6 种口岸车道闸机抬杆机械动作故障类型, 当前 Hilbert 谱图特征的检测方法的平均口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测准确率为 78.6%, 而基于机器视觉的检测方法的平均口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测准确率高达 90.4%, 能够有效提高口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测精度。

在此基础上, 进一步验证基于机器视觉的检测方法的检测方法的故障运转行为几率。IMF 分量是一个关键的转子故障行为表达系数, 一般情况下, IMF 分量的物理数值越大, 转子设备可能出现故障运转行为的几率也就越低, 此时转子 I、转子 II 的转动角速度也相对较快。在故障信号输出信噪比数值为  $J$  的前提下, 可将平均角速度  $\bar{\omega}$  ( $\bar{\omega}$  为转子 I 角速度  $\omega_1$  与转子 II 角速度  $\omega_2$  的平均值) 与 IMF 分量间的数值比例关系表示为:

$$IMF = \tau \cdot J\bar{\omega} \quad (6)$$

式中,  $\tau$  表示一个固定的等比数值参量, 针对口岸车道闸机来说, 其实值水平始终大于自然数 1。

分别设置低进车量和高进车量两种情况, 采用此次提出的基于机器视觉的检测方法和当前 Hilbert 谱图特征的检测方法, 对口岸车道闸机抬杆机械动作故障运转行为进行检测, 得到应用当前 Hilbert 谱图特征的检测方法与基于机器视觉的检测方法后, IMF 分量值的实际变化情况如表 1 和表 2 所示。

表 1 IMF 分量值记录(低进车量)

进车数量 / (辆)	机器视觉检测法			Hilbert 谱图特征检测法			
	$\bar{\omega}_1 /$ (转/s)	$\bar{\omega}_2 /$ (转/s)	IMF 分量	$\bar{\omega}_1 /$ (转/s)	$\bar{\omega}_2 /$ (转/s)	IMF 分量	
10	26	35	31 $\tau J$	8	14	11 $\tau J$	
	11	28	39	34 $\tau J$	9	16	23 $\tau J$
10~15	12	25	37	31 $\tau J$	9	14	12 $\tau J$
	13	26	37	32 $\tau J$	10	15	13 $\tau J$
15	14	27	36	32 $\tau J$	9	15	12 $\tau J$
	15	26	38	32 $\tau J$	9	16	13 $\tau J$

表 2 IMF 分量值记录(高进车量)

进车数量 / (辆)	机器视觉检测法			Hilbert 谱图特征检测法			
	$\bar{\omega}_1 /$ (转/s)	$\bar{\omega}_2 /$ (转/s)	IMF 分量	$\bar{\omega}_1 /$ (转/s)	$\bar{\omega}_2 /$ (转/s)	IMF 分量	
110	110	102	165	134 $\tau J$	102	50	76 $\tau J$
	120	113	175	144 $\tau J$	113	53	83 $\tau J$
110~160	130	123	185	154 $\tau J$	123	57	90 $\tau J$
	140	133	195	164 $\tau J$	133	59	96 $\tau J$
160	150	142	205	174 $\tau J$	142	60	101 $\tau J$
	160	152	215	184 $\tau J$	152	62	107 $\tau J$

分析表 1 可知, 当进车数量处于 10~15 辆之间时, 机

器视觉检测组  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  的数值水平基本能够保持相对稳定的存在状态, 故而根据公式 (6) 所得的 IMF 分量数值也基本能够维持较为稳定的数值状态; Hilbert 谱图特征检测组  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  的数值变化形式基本与机器视觉检测组相同, 但其实际数值水平相对较低, 有公式 (6) 所得的 IMF 分量数值更是远低于实验组。

分析表 2 可知, 当进车数量处于 110~160 辆之间时, 机器视觉检测组  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  的数值水平已知保持不断上升的数值变化状态, 且相邻两组数值结果之间的上升幅度也基本等于 10 转/s, 故根据公式 (6) 所得的 IMF 分量数值也保持不断上升的数值变化状态, 每一次上升变化的具体幅度值也为 10  $\tau$ J; Hilbert 谱图特征检测组  $\omega_1$  的数值变化形式与机器视觉检测组相同, 而  $\omega_2$  数值虽然也维持着不断上升的变化趋势, 但其上升幅度值并无明显规律, 且在  $\omega_2$  的平均数值出现了小于  $\omega_1$  的情况, 故 IMF 分量虽然能够维持小幅上升状态, 但其变化趋势却并无明显数值规律, 平均数值水平更是远低于机器视觉检测组。

整合上述实验研究结果可知, 基于机器视觉口岸车道闸机故障远程检测方法的抬杆机械动作故障检测精度, 且 IMF 分量指标数值更大, 其转子设备在实验过程中, 可能出现故障运转行为的几率也就相对较低。在整个实验过程中, 无论进车数量保持为低水平还是高水平状态, 转子 I、转子 II 均保持相对较快的转动速度, 这样有效验证了上述实验结论。

## 5 结束语

在机器视觉理论的支持下, 检测主机可直接获得口岸车道闸机的远程故障信号图像, 并可借助 CCD 传感器与镜头设备, 实现对图像配比原则的初步完善。由于故障特征行为的多变性, 非均匀采样结果可辅助检测盲源分离指令的顺利进行, 不仅实现了对故障信号输出信噪比数值的准确计算, 也使得有效信号、故障信号、噪声信号等元素得到了较好分离, 这在一定程度上抑制了口岸车道闸机故障信号混合传输行为的出现, 提高了口岸车道闸机抬杆机械动作故障检测精度, 为闸机设备的稳定运行提供了保障。

## 参考文献:

- [1] 李伟光, 刘振宇, 林鑫, 等. 基于 PCA 和希尔伯特谱的柔性薄壁轴承故障诊断研究 [J]. 机床与液压, 2020, 48 (16): 169-175.
- [2] 吕政阳, 邓涛, 张丽艳. 一种基于机器视觉的飞机钣金件跨粒度识别方法 [J]. 仪器仪表学报, 2020, 41 (2): 195-204.
- [3] 吴成刚, 杨尘, 谢崇泉, 等. 基于机器视觉的卷接机接装纸图像检测系统 [J]. 食品与机械, 2020, 36 (1): 150-156.
- [4] 李瑶, 涂兴子, 吴娟, 等. 基于线结构光的天轮偏摆监测机器视觉系统设计 [J]. 煤炭工程, 2020, 52 (5): 178-182.
- [5] 谢俊峰, 朱红, 李品, 等. 基于动态序列噪声模板的主动式像素传感器星图去噪方法 [J]. 光学学报, 2019, 39 (3): 281-289.
- [6] 蔡达岭, 范君柳, 吴泉英, 等. 基于机器视觉的小景深高分辨率双远心光学系统的设计 [J]. 激光杂志, 2020, 41 (4): 24-28.
- [7] 申益佳, 谢鑫, 蒲明博, 等. 基于传输相位和几何相位协同调控的消色差超透镜 [J]. 光电工程, 2020, 47 (10): 110-118.
- [8] 贾颖霞, 郎从妍, 冯松鹤. 基于类别相关的领域自适应交通图像语义分割方法 [J]. 计算机研究与发展, 2020, 57 (4): 876-887.
- [9] 支珊, 赵文珍, 赵文辉, 等. 齿距视觉测量的齿廓图像边缘失真修正算法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33 (4): 50-57.
- [10] 赵杰, 徐晓莹, 刘敬, 等. 变参数 active demons 算法下的多通道弥散张量图像配准 [J]. 中国图象图形学报, 2019, 24 (1): 103-114.
- [11] 乔湘洋, 王海芳, 祁超飞, 等. 基于机器视觉的线缆表面缺陷检测系统设计与算法研究 [J]. 机床与液压, 2020, 48 (5): 49-53.
- [12] 李永婷, 夏琴香, 肖刚锋, 等. 基于机器视觉的锥形旋压件起皱缺陷在线检测方法 [J]. 锻压技术, 2019, 44 (1): 134-141.
- [13] 张威虎, 郑佳雯, 郭明香, 等. 多距离特征匹配的篡改图像检测算法 [J]. 西安科技大学学报, 2019 (4): 115-121.
- [14] 郑近德, 潘海洋, 程军圣, 等. 基于自适应经验傅里叶分解的机械故障诊断方法 [J]. 机械工程学报, 2020, 56 (9): 125-136.
- [15] 赵书涛, 马莉, 朱继鹏, 等. 基于 CEEMDAN 样本熵与 FWA-SVM 的高压断路器机械故障诊断 [J]. 电力自动化设备, 2020, 40 (3): 181-186.
- [16] 张黎元, 黄潇潇, 张杰, 等. 基于 D-PMU 量测信息的有源配电网故障诊断方法 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2019, 31 (10): 145-150.
- [17] 黄靖, 张晓锋, 叶志浩, 等. 基于电流变化率与短路合闸角综合判据的船舶交流电网短路故障方向判断 [J]. 电工技术学报, 2019, 34 (21): 4611-4621.
- [18] 李著成, 黄祥林. 采用位置混沌重构的入侵杂草优化在盲源分离的应用 [J]. 计算机应用研究, 2020, 37 (2): 477-480.
- [19] 吕晓德, 孙正豪, 刘忠胜, 等. 基于二阶统计盲源分离算法的无源雷达同频干扰抑制研究 [J]. 电子与信息学报, 2020, 42 (5): 1288-1296.
- [20] 李志农, 杨晓飞, 陈长征. 基于 VMD-PARAFAC 的轴承故障欠定盲源分离 [J]. 沈阳工业大学学报, 2020, 42 (1): 63-68.
- [21] 陈剑, 陶善勇, 王维, 等. 基于周期势函数的自适应二阶欠阻尼随机共振信号增强方法 [J]. 计量学报, 2019, 40 (4): 681-685.
- [22] 王慧, 张刚, 张天骐. 改进型双稳随机共振系统及其在轴承故障诊断的应用 [J]. 西安交通大学学报, 2020, 54 (4): 110-117.