

文章编号:1671-251X(2015)08-0100-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.08.025

常浩. 基于机器视觉的提升机平衡尾绳在线监控预警系统设计[J]. 工矿自动化, 2015, 41(8):100-104.

基于机器视觉的提升机平衡尾绳 在线监控预警系统设计

常浩

(中国矿业大学 机电工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要:针对现有提升机平衡尾绳故障检测依靠人工检测存在难度大、危险性高等问题,设计了基于机器视觉的提升机平衡尾绳在线监控预警系统。该系统通过 CCD 摄像机实时采集现场尾绳图像,然后对图像进行积分投影和 Hu 不变矩图像特征参数提取,最后通过图像特征分类器进行模式识别以获得故障信息,进而进行故障判断。该系统还可利用局域网和以太网实现对提升机尾绳状态的远程监控,可及早发现尾绳绞绳、断绳、尾绳间距不均和弯曲变形等故障,解决了目前尾绳故障检测周期长和无法及时发现的难题。

关键词:提升机平衡尾绳;平衡尾绳监测;机器视觉;模式识别;远程监控

中图分类号:TD534.6

文献标志码:A

网络出版时间:2015-07-31 15:44

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150731.1544.025.html>

Design of on-line monitoring and early warning system of balancing tail rope of hoist based on machine vision

CHANG Hao

(School of Electromechanical Engineering, China University of Mining and Technology,
Xuzhou 221008, China)

Abstract: In view of problems of difficult detection and high risk in manual vision inspection of balancing tail rope failures of hoist, an on-line monitoring and early warning system of balancing tail rope of hoist based on machine vision was designed. The system uses CCD camera to real-timely collect on-site images of tail ropes of hoist, extracts characteristic parameters of the image by integration projection and Hu invariant moment, and adopts image feature classifier to do pattern recognition to get fault information and judge fault. Meanwhile, the system can remote monitor state of the tail rope of hoist by local area network and Ethernet, and can find out failures of the hoisting tail ropes, such as twisted rope, broken rope, the disproportional spacing and bending deformation of tail ropes, which solves problem of long detection cycle and fail to find fault of tail ropes timely.

Key words: balancing tail rope of hoist; monitoring of balancing tail rope; machine vision; pattern identification; remote monitoring

0 引言

平衡尾绳在煤矿立井多绳摩擦式提升系统中主要为平衡提升钢丝绳重力、获取等力矩而设置^[1]。

平衡尾绳位于箕斗底部,绝大部分时间位于无光照的井筒中。传统的平衡尾绳检修工作依靠工人手持手电筒检查,难度较大、效率低,且存在人员安全问题。平衡尾绳故障频发,给多绳摩擦提升机的安全

收稿日期:2015-01-27;修回日期:2015-06-09;责任编辑:张强。

基金项目:江苏高校优势学科建设工程资助项目。

作者简介:常浩(1989—),男,河北秦皇岛人,硕士研究生,研究方向为基于机器视觉的柔性体振动测量系统,E-mail:377172352@qq.com。

运行带来严重威胁。基于此,设计了一套基于机器视觉的提升机平衡尾绳在线监控预警系统。检修人员可通过该系统在监控室对平衡尾绳运行状态进行实时监控,同时该系统提供了可靠的自动故障预警信息,实现了尾绳故障监测的自动化^[2]。

基于机器视觉的提升机平衡尾绳在线监控预警系统主要由视频采集和图像处理组成的机器视觉系统(Machine Vision System)以及针对尾绳故障分析的预警系统 2 个部分组成。视频采集部分完成对提升机运行时多绳圆尾绳的高速图像采集,通过工业计算机上位机的图像处理程序完成对图像的识别和特征提取。故障预警系统根据提取的尾绳特征参数完成故障分析预警功能,一旦发现尾绳出现绞绳、断绳、绳间距不均等现象立即发出报警信息,通知停车检修,避免故障扩大^[3-4]。

1 机器视觉系统

机器视觉系统主要包括图像传感器、视频采集卡和计算机图像处理系统,如图 1 所示。

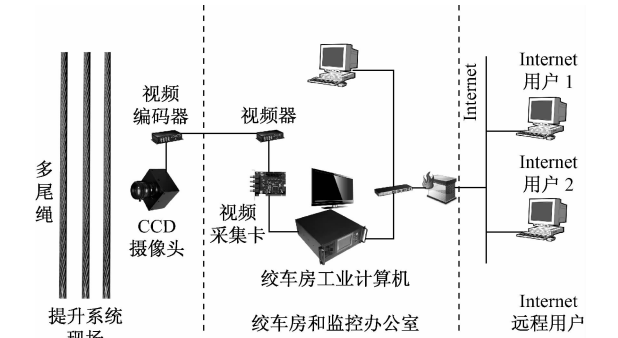


图 1 机器视觉系统硬件结构

整个系统布局根据位置不同可分为提升系统现场、绞车房和监控办公室、Internet 远程用户。现场安装的高速 CCD 工业摄像机完成对平衡尾绳的图像采集工作。受到传输距离影响,视频信号需先经过视频编码器转换成适合远距离传输的数字信号。接收端需要匹配视频解码器完成视频解码。专用视频采集卡用于将视频信号转换为计算机可识别的数字信号(数字图像)。工业计算机承担图像的处理和故障预警任务。

现场工作人员可在监控办公室内对尾绳的运行状态进行实时监控,同样可查询历史监控记录。该系统提供的远程网络访问功能实现了对提升机尾绳的远程监控与系统运维,有助于提高煤矿安全监控系统的全面信息化^[5]。

1.1 视频采集

平衡尾绳工作时一直处于运动中,视频采集摄像机必须满足一定的采样频率才能保证对平衡尾绳运行状态的连续监测。

视频图像采集过程的模型如图 2 所示, a, b, c 为摄像机的图像采集范围。实际中平衡尾绳运动,摄像机静止,模型中假设平衡尾绳静止,摄像机向相反方向运动。图 2(a)为采样过快造成摄像机采样区域重叠,图 2(b)为采样过慢造成摄像机采集区域丢失。设钢丝绳的运行速度为 v_1 ,摄像机的图像采集频率为 f ,摄像机的图像采集宽度为 d 。理论上,当 $df=v_1$ 时为理想采集状态,采集图像连续完整且无重复区域。

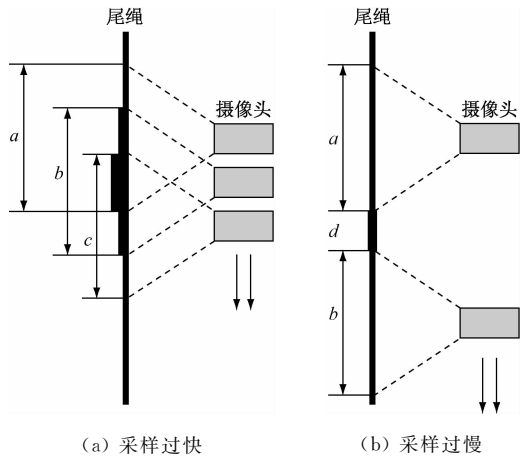


图 2 摄像机视频图像采集过程模型

如果 f 和 v_1 匹配不好,采样过快($df>v_1$),则会出现如图 2(a)所示的过多的图像重复区域。图像重复采集并不会影响尾绳最终的故障诊断,但是过多的图片区域重复处理必定浪费系统资源,会直接降低系统的实时响应能力。然而,若采样过慢($df<v_1$),则会出现如图 2(b)所示的区域丢失,造成故障信息丢失。

为了满足现场的视频采集要求,经过多次测试选取了合适的图像采集截止采样频率: $f>\frac{2V_{\max}}{d}$ 。其中, $V_{\max}$ 为平衡尾绳的最大运行速度,一般为 5~13 m/s;经现场测试, d 一般为 2 m。采样频率最小值 $f_{\min}=\frac{2V_{\max}}{d}=\frac{2\times 13}{2}=13$ (帧/s)。为保证 $f>f_{\min}$,摄像机采样频率 f 取 20 帧/s 已经满足要求。只有选取合适的满足采样频率以及合适分辨率的工业摄像机才能使采集图像完整且不间断,采集的视频才能反映整个尾绳的运行状态,保证后续的图片处理以及故障信息提取的可靠性。

1.2 图像处理

图像处理是机器视觉系统的重要组成部分,也是本文设计的系统的关键部分,主要负责从尾绳视频中提取尾绳故障信息。图像处理主要由图像的预处理和图像特征提取2个部分组成,如图3所示。

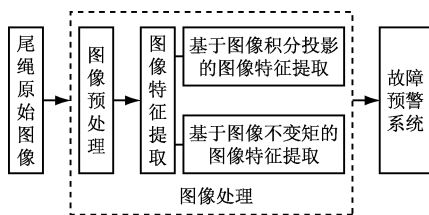


图3 尾绳图像处理过程

1.2.1 图像预处理

由于工业 CCD 采集的原始图像存在机械噪声和背景噪声,会对后续的特征提取产生干扰,需经过图像预处理才能进行特征提取。在图像读入后,首先对图像进行降噪处理和平滑处理以减小干扰噪声。受到平衡尾绳本身颜色特征和环境光线限制,平衡尾绳的颜色特征不能有效地用于故障特征提取。在图像处理前,直接对图像进行灰度化处理(灰度化后丢失颜色特征),再进行二维中值滤波。

$$g(x,y) = \text{med}\{f(x-k,y-l), (k,l \in W)\} \quad (1)$$

式中: x,y 为二维图像像素点坐标; $f(x,y),g(x,y)$ 分别为原始图像数据和处理后的二维图像数据; med 为二维中值滤波过程; W 为 3×3 的模板; k,l 可取值为 $-1,0,1$ 。

1.2.2 图像特征提取

平衡尾绳的常见故障类型有断绳、弯曲变形、缠绕、间距不均等。经过大量样本图像观察和实验发现,故障尾绳图像和正常尾绳图像差别主要体现在图像的形状特征上,本文主要选取了形状特征参数作为故障模式识别的特征数据。

1.2.2.1 基于图像积分投影的图像特征提取

设 $I(x,y)$ 表示点 (x,y) 处的灰度值,在确定区间 $[x_1, x_2]$ 和 $[y_1, y_2]$ 内灰度值的垂直积分投影和水平积分投影函数为 $S_v(x)$ 和 $S_h(y)$:

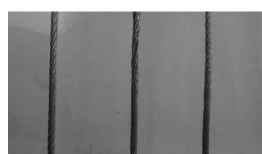
$$S_v(x) = \int_{y_1}^{y_2} I(x,y) dy \quad (2)$$

$$S_h(y) = \int_{x_1}^{x_2} I(x,y) dx \quad (3)$$

式中: $I(x,y)$ 为二维图像在 (x,y) 处的灰度值^[6]。

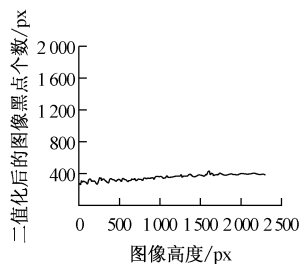
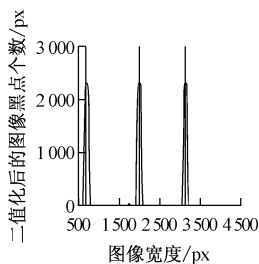
利用垂直积分投影函数对图4—图7中的(c), (d)投影图提取多绳间距特征参量:重心数目和绳间距。利用水平积分投影函数可提取特征参量:峰峰

值、均值、标准差。



(a) 正常尾绳原始图像

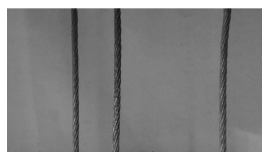
(b) 预处理后图像



(c) 垂直方向的积分投影

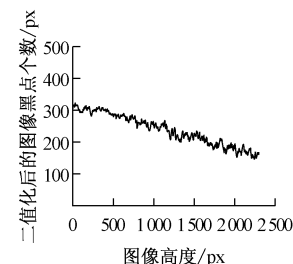
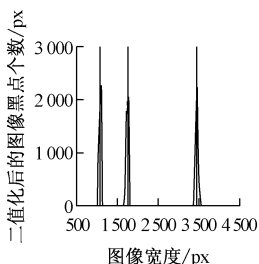
(d) 水平方向的积分投影

图4 正常尾绳图像的积分处理结果



(a) 绳间距不均的原始图像

(b) 预处理后图像



(c) 垂直方向的积分投影

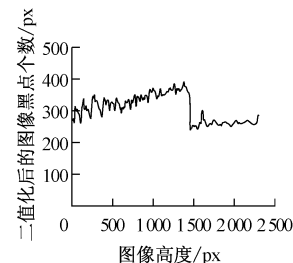
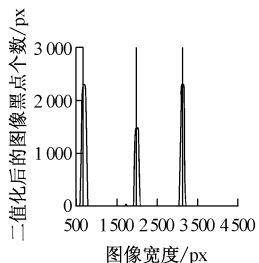
(d) 水平方向的积分投影

图5 绳间距不均尾绳图像的积分处理结果



(a) 尾绳断绳原始图像

(b) 预处理后图像



(c) 垂直方向的积分投影

(d) 水平方向的积分投影

图6 尾绳断绳图像的积分处理结果

由4种样本图的垂直、水平积分投影计算获得的特征参数见表1。根据重心数目可以判断出是否发生了绞绳故障,若发生绞绳故障,重心数目会减

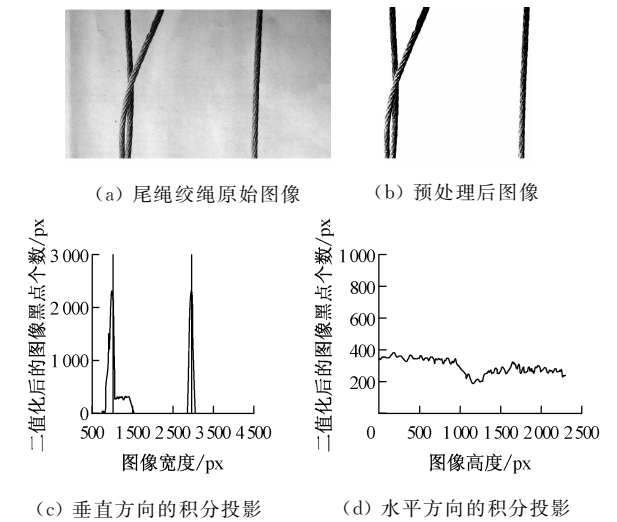


图 7 尾绳绞绳图像积分处理结果

少。同样,根据绳间距能判断出绳间距不均故障。提取的特征参数经过数学处理后交由模式识别分类器进一步进行故障分析。

表 1 基于积分投影提取的特征参数

样本图	重心 数目	绳间距 1/px	绳间距 2/px	水平峰峰 值/px	水平平均 值/px	标准 差/px
图 4	3	1 230	1 080	150	300	33
图 5	3	680	1 700	167	240	35
图 6	3	1 320	1 140	160	320	50
图 7	2	1 745	—	170	280	42

1.2.2.2 基于不变矩的图像特征提取

平衡尾绳不同故障图像之间及其与正常尾绳图像间都具有明显的形态区别。通过 Hu 不变矩提取的尾绳形态特征参量经过数学处理后交由模式识别分类器用于尾绳故障状态分析。Hu 不变矩具有不随图像的位置、大小和方向而变化的特点,对于提取尾绳图像中的形态特征非常有效。

由 Hu 矩不变矩计算公式计算获得图像的 Hu 矩的 7 个特征数值($\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7$)。由于直接求得 Hu 矩特征值不易于数据处理,本文将其进行进一步线性变换^[7]。数学处理之后的 Hu 矩 $H_i(i=1,2,\cdots,7)$ 计算公式如下:

$$H_i = | \lg | \phi_i | | \tag{4}$$

Hu 不变矩测试图片样本如图 8 所示。Hu 不变矩计算结果见表 2。从表 2 可以看出,Hu 矩的 7 个特征参数中, H_1, H_2 对于不同类型的图像样本变化不大。 H_3, H_4, H_5, H_6, H_7 对于相同类型缺陷(图 8(e),(f),(g))特征参数基本保持在很小的范围内,而对于不同故障图像样本则变化较大。Hu 矩图像特征参数很好地反映了尾绳故障特征。

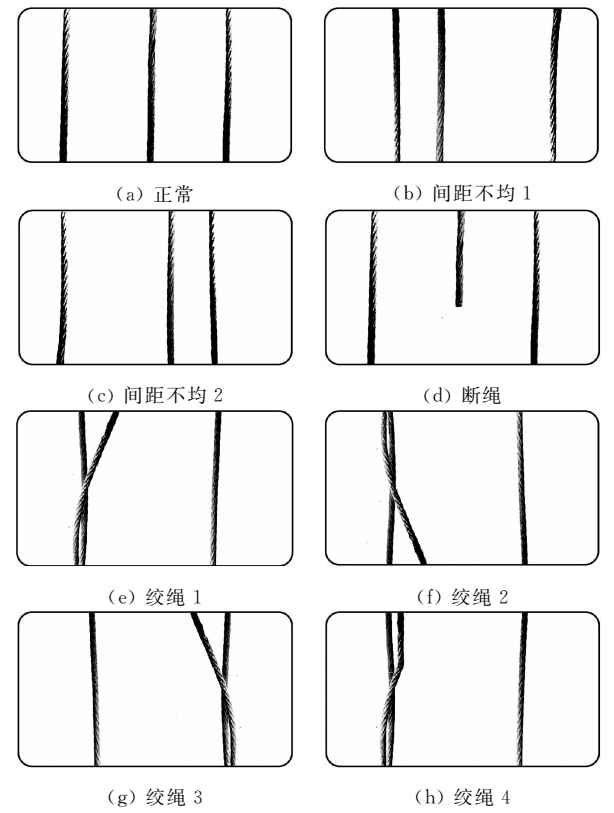


图 8 Hu 不变矩测试图片样本

表 2 Hu 不变矩计算结果

图片 编号	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7
(a)	0.660 7	1.874 8	6.562 5	6.573 9	13.372 8	7.571 7	13.234 2
(b)	0.661 4	1.876 1	5.749 5	5.741 2	11.511 9	6.683 5	11.965 5
(c)	0.669 4	1.895 0	5.902 1	5.870 3	11.817 4	6.838 0	12.0624
(d)	0.669 7	1.902 6	5.697 1	6.320 5	12.956 4	7.576 9	12.341 7
(e)	0.667 9	1.887 5	4.909 0	4.980 0	9.930 0	5.939 0	10.724 1
(f)	0.667 7	1.887 1	4.892 7	4.967 2	9.902 0	5.924 8	10.722 4
(g)	0.674 8	1.904 1	5.098 5	5.175 3	10.322 1	6.148 8	10.985 1
(h)	0.668 5	1.889 6	4.882 7	4.949 1	9.870 4	5.908 4	10.669 8

基于积分投影的统计特征和 Hu 不变矩特征的结合,能够更加全面地反映平衡尾绳的形状特征,为尾绳故障分析提供足够的特征数据。

2 故障预警系统

平衡尾绳图像特征参量提取后,需要选取一定模式识别方法进行故障分类,考虑到系统实时性和功能实现,系统模式识别采用统计分类方法。故障诊断和预警过程如图 9 所示。

故障预警系统通过图像处理系统输出的尾绳特征参数进行模式识别,获得故障信息。故障预警系统主要由屏幕显示和报警灯组成。基于 Web

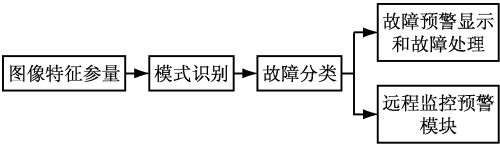


图 9 故障诊断和预警过程

Publisher 的远程监测功能可实现提升机尾绳运行状态的远程访问,实现真正意义上的跨区域、多监控终端的远程煤矿安全监控。

3 结语

基于机器视觉的提升机平衡尾绳在线监控预警系统选取了能够明显反映尾绳运行状态的图像特征作为提取对象,断绳、绞绳紧急故障识别率能达 98% 以上,且故障识别稳定,解决了尾绳故障依靠人工检测难度大、周期长和危险性高的难题,提高了提升系统故障诊断的自动化、智能化水平。

参考文献:

[1] 王守军. 煤矿立井多绳摩擦式提升机平衡尾绳选型、损坏原因简析[J]. 科技与企业, 2013(3): 273-273.

[2] 张志红, 邓雁兵. 摩擦式提升竖井圆尾绳断绳原因分析与预防[J]. 中国资源综合利用, 2013, 31(3): 61-63.

[3] 姜文河, 董庆波. 摩擦式提升机圆尾绳故障分析[J]. 矿山机械, 2008(14): 80-81.

[4] 徐宝根. 摩擦轮式提升机尾绳故障分析与防治[J]. 矿山机械, 2006(5): 149-150.

[5] 王保德. 提升机群远程监测与智能故障诊断系统设计[J]. 工矿自动化, 2013, 39(11): 106-109.

[6] 薛金娟. 基于图像识别的钢丝绳状态检测研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2013.

[7] 简丽琼. 基于 Hu 矩和 Zernike 矩的文字识别[J]. 科技信息, 2009(17): 62-63.