

钢绳芯胶带图像缺陷特征自动提取技术

付丽琴¹ 王红英¹ 张子良²

(¹北京经济管理职业学院机械电子系, 北京 100102)
²煤炭科学研究总院, 北京 100013)

摘要 结合磁检测和 X 射线检测技术, 实现钢绳芯胶带的事后隐患检测, 以确保胶带输送机安全使用。实现胶带射线图像中缺陷特征的自动提取, 是保障整个检测系统实时性的关键。重点以接头抽动特征的提取为例, 提出一种胶带射线图像中缺陷特征自动提取的方法。算法对存在缺陷的胶带射线图像进行降噪和剪裁处理, 以减少无用信息; 基于图像水平方向灰度差分的方法弱化钢丝绳信号对缺陷信息的干扰; 对图像实施二值化分割, 并利用图像中连通的亮点区域的面积来区分缺陷目标和噪声, 以提取缺陷区域信息; 通过图像扫描得到缺陷的位置和尺寸信息。实验结果证明了算法的可行性。

关键词 机器视觉; 射线成像; 接头抽动; 灰度差分; 特征提取

中图分类号 TN911.73 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.s109001

Auto Defect Extraction of Steel-Cord Conveyor Belt

Fu Liqin¹ Wang Hongying¹ Zhang Ziliang²

(¹Department of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Institute of Economic Management, Beijing 100102, China)
²China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract A detection system based on hybrid of magnetic method and radiography imaging technique is adopted to detect the hidden causes of accidents and ensure the safe operation of steel-cord conveyor belt. It is necessary to implement auto defect extraction of X-ray image of steel-cord conveyor belt for the real-time performance of the whole detection system. This paper lays special stress on studying the auto defect extraction method taking connector stretch for instance. The malfunction images of steel-cord belts are denoised and trimmed firstly to decrease useless data. Then the interference from steel-cord is reduced using horizontal gray differential method. Image binarization based on histogram as well as denoise algorithm based on area of continuous bright pixels are implemented to obtain the pure defect signal. Finally the position and size informations of defect are extracted. The experimental results evaluate the effectiveness of the algorithm.

Key words machine vision; radiography; connector stretch; gray differential; feature extraction

OCIS codes 110.2970; 100.2000; 150.3040; 150.1135; 340.7440

1 引 言

钢绳芯胶带是重工业场所普遍使用的一种重型运输设备, 长期使用和老化会导致皮带钢绳芯出现断绳或硫化接头抽动的现象, 如不及时采取措施, 会造成重大经济损失^[1]。常用的钢绳芯胶带无损检测技术因容易受到环境因素的影响, 而使其应用受到了限制, 如磁检测和超声检测技术等^[2]。X 射线的发射及接收非常稳定, 不受电磁场等环境因素的干扰, 而且提供了一种对物体内部结构的可视化检测

手段^[3,4]。本文的设计兼顾了使用成本和精确度, 综合了磁检测和射线成像技术。磁检测用来完成对胶带损伤部位的初步判定, 射线成像则提供了胶带损伤部位的图像, 使得现场操作人员可以及时准确地了解胶带的状态, 消除事故隐患。

本文重点研究了胶带射线图像中缺陷特征的自动提取技术, 即缺陷的定位和定量信息获取, 为钢绳芯胶带状态的准确判断提供基础^[5]。所用技术包括两个部分: 一是通过对 X 光图像进行处理来改变原

收稿日期: 2012-01-16; 收到修改稿日期: 2012-02-22

作者简介: 付丽琴(1971—), 女, 博士, 教授, 主要从事信号和图像处理等方面的研究。E-mail: liqin_fu@126.com

图像的灰度分布,使图像中所关心的缺陷信息更加突出;二是提取缺陷位置和尺寸特征信息。

2 损伤数据获取

2.1 检测系统

检测系统由上位机和下位机两个部分组成。下位机主要包括 5 个功能模块:工控机模块、初位检测模块、电磁检测模块、射线成像模块和步进电机模块。工控机是整个系统的核心,负责采集各传感器数据和管理其他模块;初位检测模块利用磁传感器,在胶带横向标定初始位置,为损伤位置的确定提供基准点;纵向放置的电磁传感器通过漏磁通量的感应信号全时段检测钢绳芯胶带的状态;当电磁传感器检测到可能出现损伤的部位时,工控机将综合上述信息确定损伤位置,并控制步进电机移动 X 光检测设备以及开启 X 光机和照相机,把接头抽动和钢绳芯的损伤部位拍摄成图像,并将图像等数据上传。

上位机主要是远程登录下位机,与下位机通信,对下位机上传的图像进行后期处理,并实时显示钢绳芯胶带的状态,提取缺陷特征进行诊断,监控钢绳芯胶带的安全运行。

2.2 X 射线成像装置

X 射线数字成像技术能够无损获取物体内部图像,以供损伤诊断。X 光成像系统由 120 kV 脉冲 X 射线源、X 射线探测器、CCD 相机和触发电路组

成,如图 1 所示。该系统首先采用 X 射线转换屏将 X 射线辐射转换为可见光,然后通过 CCD 相机将可见光转换为电信号,从而得到二维的胶带图像。

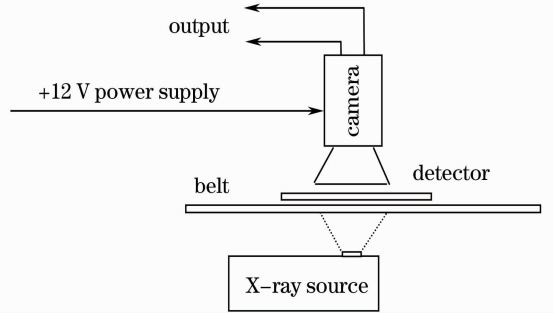


图 1 X 射线数字成像系统

Fig. 1 X-ray imaging system

由于钢绳芯胶带的硫化接头是整个胶带中最脆弱的环节,因此接头是检测的重点。

2.3 成像结果

根据现场条件,调整 X 光机的工作电压、焦点,以及 X 光机、胶带和转换屏三者之间的距离等参数;然后,启动整个系统开始工作,在线获取的部分胶带图像如图 2 所示,分辨率为 $1392 \text{ pixel} \times 1040 \text{ pixel}$,根据 X 光的检测原理,透过钢绳芯的 X 光比其周围胶质少,图像信号相对较弱,图像较黑,因此,图像中颜色较深的条带信号为钢丝绳。图 2(a)为正常图像,图 2(b)~(e)为接头图像,图 2(c)和图 2(f)是有接头抽动缺陷的图像。

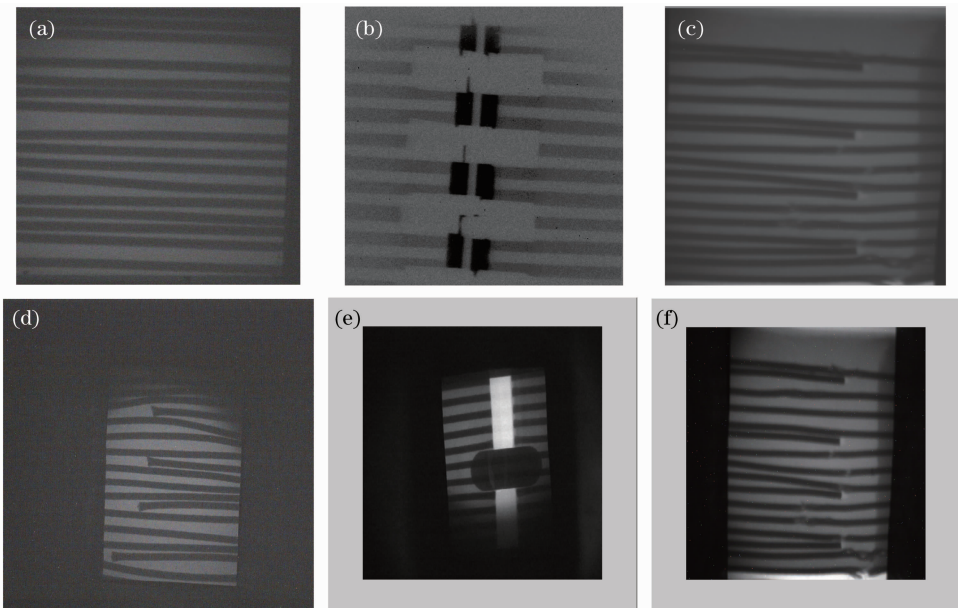


图 2 钢绳芯胶带图像

Fig. 2 Steel-cord conveyor belt

实验发现,X 光机能够较好地照射出胶带内部钢丝绳的状态,通过胶带另一侧荧光屏上的成像和

摄像机采集图像并输入到工控机,能够清晰地看到皮带内部钢丝绳的状态,如硫化接头、断绳、抽动等。

由于钢丝绳具有很大的弹性,进行硫化时,它不能严格地整齐排列,因此对每条钢绳芯的接头图像进行处理难度较大。

3 接头抽动的特征提取

图 2(f)所示胶带图像存在明显的抽动缺陷,显示为灰度亮块。以图 2(f)所示钢丝绳抽动图像为例,介绍缺陷自动特征提取的方法,图 3 所示为算法的流程。由于成像过程中受到成像设备、环境等影响,射线图像具有信噪比低、对比度差等特点,这就

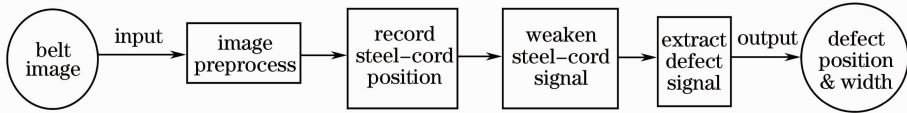


图 3 抽动特征提取流程

Fig. 3 Diagram of connector stretch feature extraction

3.1 图像预处理

为了准确获取目标信息,需要通过图像预处理技术来抑制噪声和增强目标信号^[6],好的图像增强技术能够在保持图像原有信息的前提下,使图像中相邻区域间的灰度差异最大限度地被人眼感知^[7,8]。经验表明,中值滤波能有效地抑制 X 射线

给检测工作带来了困难。因此,需要对图像进行预处理,提高图像质量。检测所关心的缺陷分布在钢丝绳所处的位置,为了提取缺陷特征的方便,同时识别虚假缺陷,需要记录钢丝绳所在位置;胶带中钢丝绳信号的强度很大,造成图像灰度分布很复杂,因此本系统采用水平方向灰度差分的方法弱化钢丝绳信号的影响;接头抽动缺陷的灰度分布具有显著特征,基于此特点系统滤除所有干扰信息,从而得到抽动信号;最后以图像扫描的方式得到缺陷的位置和尺寸信息。

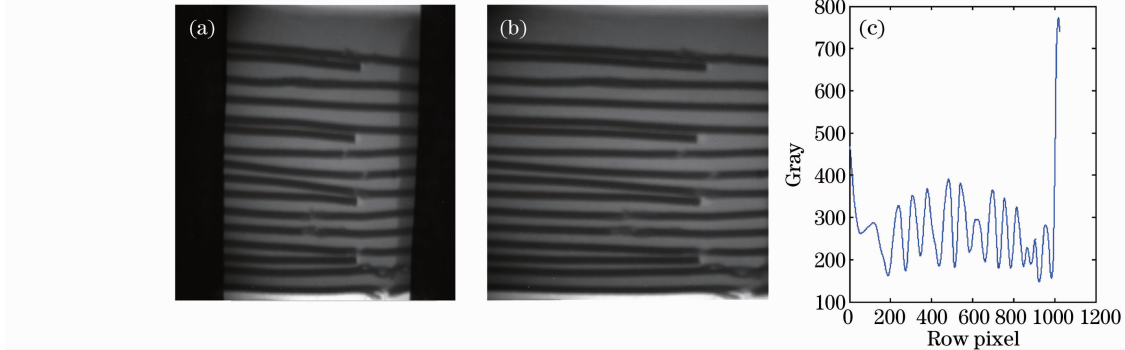


图 4 图像预处理的结果。(a)降噪图像;(b)裁剪图像;(c)图像的纵向灰度和曲线

Fig. 4 Results of image preprocessing. (a) Denoised image; (b) cutted image; (c) longitudinal gray and curve of image

3.2 记录钢丝绳纵向位置

记录钢丝绳所在位置采用的方法如下:

1) 对图 4(b)所示图像,求每一行灰度值和,保存为一维数组 A_1 ,图 4(c)为图 4(b)所示图像的纵向灰度和曲线,其中横坐标代表图像的行号,对应于数组 A_1 的元素序号,纵坐标则代表图像中每一行的灰度和,对应于数组 A_1 的元素值;

2) 对数组 A_1 元素求差分,保存为另一个数组 A_2 ;

3) 分析数组 A_2 中元素值的分布情况,设置两个阈值 $T_1 < T_2$;

图像中的脉冲干扰及图像扫描噪声,同时可以克服线性滤波器所带来的图像细节模糊^[9];此外,由于它在实际运算过程中并不需要图像的统计特性,所以使用比较方便。采用 3×3 窗口的中值滤波对图 2(f)所示抽动图像进行降噪,结果如图 4(a)所示;然后对图 4(a)图像裁剪,得到图 4(b)。

4) 当元素值小于 T_1 时,认为其所对应的行号非钢丝绳所处位置;当元素值大于 T_2 且其前面或后面的元素均小于 T_1 时,认为其所对应行号为胶带的边界;当元素值大于 T_1 小于 T_2 时,认为其对应行号小于 T_2 钢丝绳的位置,并记录该行号。

结果如表 1 所示。

3.3 弱化钢丝绳信号

由图 4(c)可以看出,由于钢丝绳胶带图像的直方图峰值很多,不利于缺陷提取。而直方图的多峰值现象与胶带多条钢丝绳的存在有很大关系,为了减少胶带中钢丝绳信号对缺陷信号的干扰,采用一

表 1 皮带中钢丝绳的位置
Table 1 Position of steel-cord

| Number | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Row | 252 | 273 | 345 | 438 | 513 | 535 | 617 | 660 | 691 | 727 | 786 | 848 | 884 | 923 | 984 |
| Coordinate /pixel | | | | | | | | | | | | | | | |

种基于水平方向灰度差分的方法,图 5 为水平方向灰度差分的结果。由图可见,图像纵向的灰度差异得到了弱化,同时,突出了抽动缺陷特征(图中亮块)。

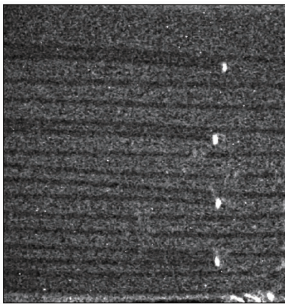


图 5 水平差分后图像

Fig. 5 Image after horizontal differential

3.4 提取缺陷信号

经过水平方向灰度差分处理后,抽动缺陷更为明显,但干扰信息依旧很多。对图像进行分析看到,抽动缺陷表现为明显的亮块,其面积远远大于图像中其他亮斑的面积,可利用此特点消除噪声。

首先实现胶带图像的二值化,由于抽动缺陷处的像素灰度值高于其他大多数像素,因此,阈值选取采用基于灰度直方图的方法,灰度低于阈值的像素点赋值为 0,否则赋值为 1。图 6 为阈值分割后的结果。

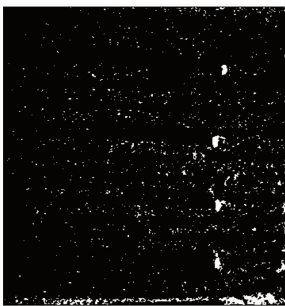


图 6 二值化图像

Fig. 6 Binary image

然后利用前面得到的钢丝绳位置信息,将远离钢丝绳位置的噪声删除。方法是通过扫描图像,当亮点纵坐标与表 1 中所列钢丝绳位置相差较远时,认为不是缺陷,因而将其删除。

最后,采用基于面积的方法滤除钢丝绳位置附近的噪声。扫描图像,对于每个亮点,统计其邻域亮

点的个数。当小于某个阈值时,进行删除,得到如图 7 所示图像。



图 7 仅有抽动信号的图像

Fig. 7 Connector stretch image

3.5 输出缺陷的位置和尺寸

经过前面的处理,图像中只保留了缺陷信息。扫描钢丝绳所在行的像素,一旦发现亮点,一方面记录该点纵向坐标,作为定位数据,另一方面则搜索其邻域,记录亮点个数作为缺陷的面积,将其记录;同时测量每个抽动特征的像素宽度,将最大宽度进行记录。系统得到 4 个抽动特征的数据,如表 2 所示。

表 2 抽动出现的像素位置及宽度

Table 2 Position and width of stretch

| Number | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|
| Row coordinate /pixel | 275 | 534 | 728 | 920 |
| Stretch area | 107 | 151 | 163 | 110 |
| Maximum width /pixel | 16 | 17 | 25 | 16 |

将表 2 所示抽动的位置与表 1 所列钢丝绳位置相比较,可以发现,抽动缺陷出现在序号分别为 2、6、10、14 的钢丝绳。

4 结 论

采用一种基于电磁检测和 X 射线探测技术的胶带在线监测系统获取胶带缺陷图像,并重点研究了胶带射线图像的处理技术,提出一种适用于钢绳芯胶带图像缺陷特征提取的方法,以接头抽动图像为例,验证了算法的有效性。

参 考 文 献

1 Li Yunwang, Miao Yunjiang, Zhang Gaoju *et al.*. The precaution and protection of breaking accident of belt conveyer[J]. *Coal Safety*, 2006, 37(6): 57~59
李允旺, 苗运江, 张高举 等. 带式输送机断带事故的预防与保护

- [J]. 煤矿安全, 2006, **37**(6): 57~59
- 2 Junfeng Wang, Changyun Miao. Research of X-ray nondestructive detector for high-speed running conveyor selt with steel wire ropes[C]. *SPIE*, 2007, **6833**: 68331X
- 3 Li Baolei, Zhang Yaojun. Projection decomposition algorithm of X-ray dual-energy computed tomography based on projection matchine[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(3): 0311002
李保磊, 张耀军. 基于投影匹配的 X 射线双能计算机层析成像投影分解算法[J]. 光学学报, 2011, **31**(3): 0311002
- 4 Zhou Xian, Liu Yilun. A study of automatic extraction method of defects on X image [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(7): 1016~1020
周 贤, 刘义伦. X 光图像中缺陷的自动提取方法研究[J]. 光学学报, 2006, **26**(7): 1016~1020
- 5 Geng Lei, Miao Changyun. A new joint elongation detection algorithm of conveyer belt [J]. *Engineering Sciences*, 2007, **5**(3): 101~104
- 6 Zheng Dezhong, Cui Fayi. Contour extraction of image using adaptive bilinear generalized fuzzy enhancement[J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(2): 495~504
- 郑德忠, 崔法毅. 自适应双线性广义模糊增强的图像轮廓提取[J]. 中国激光, 2010, **37**(2): 495~504
- 7 Guo Baolong, Wu Xiaoyue, Li Leida. A new approach for removing the Gibbs-like artifacts in image denoising[J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(3): 769~773
郭宝龙, 武晓玥, 李雷达. 一种新的有效消除图像中 Gibbs 噪声的算法[J]. 中国激光, 2010, **37**(3): 769~773
- 8 Qiu Yu, Tian Fengchun, Chen Jianjun *et al.*. An improved denoising method for 4 f optical system based on bilateral filter [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(2): 514~520
邱 宇, 田逢春, 陈建军等. 一种基于双边滤波的 4 f 光学系统图像去噪方法[J]. 中国激光, 2010, **37**(2): 514~520
- 9 Fu Liqin, Han Yan, Chen Shuyue. Automatic judging system based digital radiography for defect [J]. *Journal of North University of China(Natural Science Edition)*, 2005, **26**(6): 447~451
付丽琴, 韩 焱, 陈树越. X 射线数字成像检测中缺陷的自动评判技术[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2005, **26**(6): 447~451

栏目编辑:李文喆