

强力输送带接头点识别算法^①

谢永亮, 洪留荣, 石 莉, 汤二贝

(淮北师范大学 计算机科学与技术学院, 淮北 235000)

摘 要: 针对新型的强力输送带以接头点为基准参考点进行故障实时检测, 存在接头定位困难问题, 提出了一种基于统计学和图像处理技术相结合的接头点检测识别算法. 该算法首先把图像每一列看成一个样本总体; 然后根据每一列的样本均值以及该列中的每一个像素的方差计算出该像素点的平滑度, 根据一定的平滑度阈值来找到接头点区域, 通过对接头点区域应用图像处理技术中的腐蚀、膨胀等运算, 使其形成一个矩形区域. 利用该矩形区域像素值的方差以及矩形区域的宽高比这两个特征, 来达到对接头点的识别. 实验表明该算法能够有效地识别出接头点.

关键词: 强力输送带; 图像处理; 接头识别; 统计学; 平滑度

Identification Algorithm of Joints of Powerful Conveyor Belt

XIE Yong-Liang, HONG Liu-Rong, SHI Li, TANG Er-Bei

(College of Computer Science and Technology of HuaiBei Normal University, HuaiBei 23500, China)

Abstract: It's difficult to make a real time stoppage detection methods based on a point of joint for new type of powerful conveyor belt. The paper proposed novel method based on statistics and image processing technology for identifying joints of powerful conveyor belt of new type. First, this algorithm regards every line of the image as the overall sample. Then it calculates the degree of smoothness of the pixel according to each line's mean value and every pixel's variance of the line. On the basis of threshold of smoothness to find point of joint area can form a rectangle zone to apply erosion and dilating. For recognition joint, we can use two features that variance in this rectangle zone and width-height ratio for this rectangle zone. Experimental results show that this algorithm can better identify joints of powerful conveyor belt.

Key words: powerful conveyor belt; image process; joint recognition; statistics; degree of smoothness

1 引言

目前, 强力输送带(钢丝绳芯输送带)被广泛应用于粮站、矿山、原煤发电厂等领域, 但是在使用过程中, 由于强力输送带超负荷使用、被障碍物刮烂及老化等原因而会发生钢丝绳芯面断裂、接头松动等故障, 需要及时维修. 在现有的输送带故障检测中, 基于 X 光的强力输送带故障无损检测系统是探测故障的重要设备, 它由 X 光射线发射器、X 光接收器、计算机检测与报警系统等组成, 如图 1 所示, 其中计算机检测与报警系统主要完成故障检测与报警处理任务, 包括故障的检测及定位, 并能与用户进行适当交互. 该系统能够实时获取和显示强力输送带的内部钢绳图像,

也能够检测到故障点的位置而被广泛应用, 但维修人员较难快速找到故障点位置^[1], 一种利用图像处理的方法是首先确定输送带中的某个接头, 然后通过计算故障点与识别出的接头距离, 这样接头点的识别就成为问题的关键, 本文在整理出相关工作在实践中遇到的问题之后, 分析其原因, 在此基础上, 给出了一种新的识别输送带接头的理论和方法.

2 研究现状

通过 X 光射线检测系统来定位强力输送带(钢丝绳芯输送带)的接头, 并通过定位接头后, 进行后续处理工作, 国内有的学者也有对这方面进行过相关研究,

^① 收稿时间:2014-09-22;收到修改稿时间:2014-11-03

并且提出了自己的图像分析算法^[1,2]。但是对于新型钢丝绳芯的强力输送带接头识别,使用文献[1]中提出的方法来定位和识别接头存在两个问题: (1)文献[1]中主要通过图像像素点的亮度值与该图像的平均值之差的绝对值作为依据,如果较多的像素大于一个固定阈值,则认为该图像是接头图像,否则就是非接头图像,由于X光射线检测系统在不同情况下获取的图像光照不同,固定阈值的做法在图像对比度不高、接头点较少的情况下,容易产生误判,同时“较多像素”的定义也是固定阈值判别,对于较强噪音的图像也容易产生误判,这一点在生产实践中也得到了证明。图2展示了出现这种情况的钢丝绳芯强力输送带的图像。(2)如果接头排列较整齐,则横纵坐标相差较小,用动态规划算法判别接头点匹配时,容易形成把不同接头点判别成相同接头点。图3展示了这种情况的图像。基于这些问题本文提出了一种新的接头点检测与识别算法,较好地解决了上述问题。

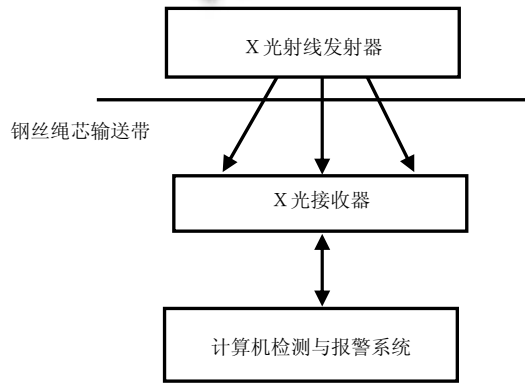


图1 钢丝绳芯输送带X光射线检测系统组成

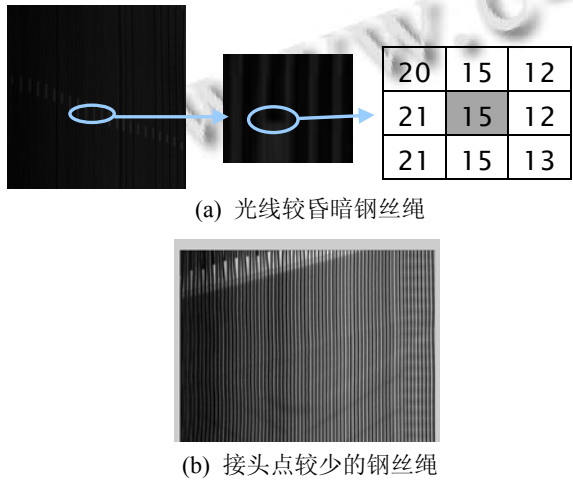
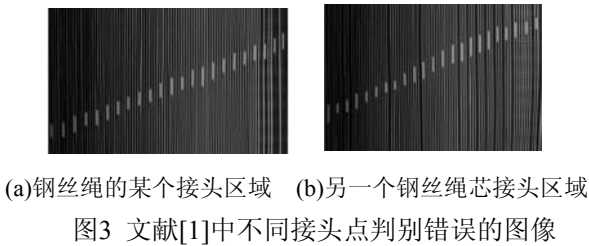


图2 文献[1]中钢丝绳芯强力输送带的图像



3 接头点定位与识别算法框架

计算机检测与报警系统中的故障定位是以强力输送带中的某个固定接头为依据的,因此能否识别出该接头对于定位故障点是否准确将起到决定作用。首先要解决的问题是要在输送带图像中检测出接头图像,然后识别该图像中的接头是否为指定的接头。具体来说,首先计算图像各像素点的平滑度,依据平滑度阈值来得到平滑度图像,在平滑度图像中应用图像处理中的形态学技术确定是否为接头图像,在确定了接头图像之后,根据接头区域的方差和宽高比进行具体接头的识别,方法框架如图4所示。

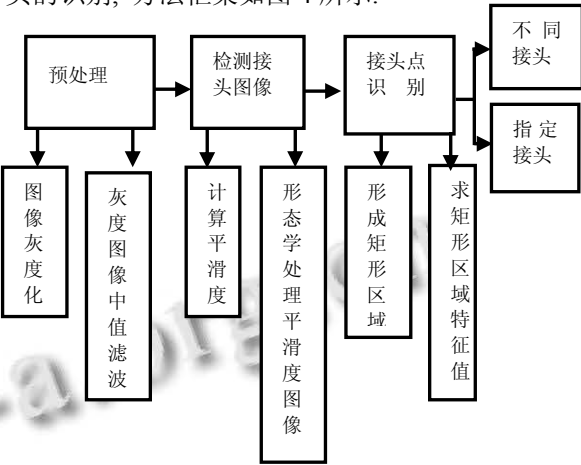


图4 接头点定位与识别算法框架

4 接头点的定位与识别算法

4.1 接头点的定位

自然图像可以看作是一个局部平稳的信源,对于自然图像中的某一局部区域,由于物体具有相近的电磁波反射特性,该区域内像元的灰度取值之间有很强的相关性,可认为在局部范围内具有近似的平稳性,也就是说在局部区域内图像数据统计特性的变化较小^[6]。由X光钢丝绳芯图像的特点:对于非接头区域,图像局部区域内图像对比度较小显得较平滑,在接头点区域图像对比度较大。为了有效的定位接头区域,

本算法使用了局部区域内图像数据统计特性的平滑度概念,对于图像的上述特点,使用图像的平滑度能够很好的检测出接头点区域。

根据对 X 光图像的分析,因为图像是经过逐行扫描得到的,由于 X 光的发射与接收问题,这样造成图像各列上的成像质量不一样,有的边缘处较暗,中间较亮,当然硬件较好的会得到质量较好的图像,为适用各种不同的情况,本文把图像的每一列像素看成一个样本总体,把该列中的每一个像素点的值看成一个随机变量所取的值,则在某像素的方差定义为该像素所在列的样本总体的均值与该像素灰度值之差的平方,如公式(1)所示。

$$\sigma^2(x,y) = (I(x,y) - \mu(y))^2 \quad (1)$$

其中, (x,y) 表示像素点的行列值, $I(x,y)$ 表示 (x,y) 处的灰度值, $\mu(y)$ 表示第 y 列像素的灰度值均值。

为适用不同的 X 光强度下的图像,保证在计算像素点的平滑度时,平滑度公式中的分母 1 不被吞食,对方差进行归一化,使用式(2)得出归一化后的方差 u 。

$$u = \frac{\sigma^2}{\max(\sigma^2(x,y))} \quad (2)$$

以此方差根据式(3)计算每一个像素点的平滑度:

$$R = 1 - \frac{1}{1+u} \quad (3)$$

如果该点的平滑度大于阈值 ε , 则该点为接头区域点, 令其值为 1, 否则其值为 0。具体阈值获取在 4 中讨论。图 5 显示了经过处理后的接头图像的过程。

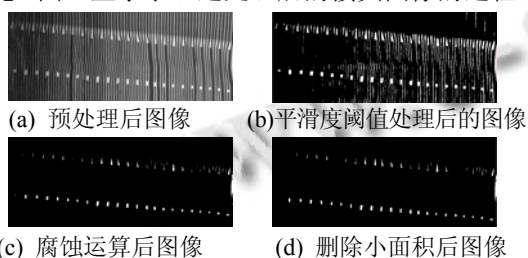


图 5 经过不同操作处理后的同一个接头图像

在图 5(c)中, 经过平滑度阈值处理后图像中存在一些细长的线, 对于这些细长的线, 它们的半径往往小于 2 个像素, 这主要是由于噪音和钢丝绳弯曲引起的, 可简单应用腐蚀运算剔除。面积较小的区域, 往往也不是接头区域, 删除这些小面积区域得到图像如图 5(d)所示。

4.2 接头点识别

为了方便找到钢丝绳芯输送带的故障点, 一般以固定接头为标志, 根据线阵扫描探测器的扫描速度和输送带实际运行速度可以很容易计算出两者的距离, 所以系统初始安装时, 由人工指定一个接头, 依据此接头计算与故障点的距离, 检修时能很快找到输送带实际故障位置^[1]。因此, 对于接头的识别很重要。在实验中经过统计发现, 每一个接头长宽差别较大, 且接头点的所在区域灰度值方差均值也有很大程度的不一致, 因此, 引入两个特征进行接头的识别。第一个特征是接头区域经膨胀后的外接矩形内灰度值的方差均值, 另一个是矩形区域的宽高比。分别用公式(4)和(5)计算接头外接矩形的方差均值 η 和宽高比 r :

$$\eta = \sum_{(x,y) \in \text{Ret}} \sigma(x,y) / \text{num} \quad (4)$$

其中, Ret 为接头外接矩形框所在区域像素点, num 为该矩形区域内像素点的个数。

$$r = (\text{cc max} - \text{cc min}) / (\text{rr max} - \text{rr min}) \quad (5)$$

其中, cc min 、 rr min 、 cc max 、 rr max 分别为矩形区域的左上和右下像素点的纵横坐标。

由于摄像头是自动采样接头图像, 加上传送带的速度和摄像头的拍摄时间有可能不同步, 导致拍摄到的接头点可能是一个完整的接头图像也可能是不完整的接头图像, 如图 6 所示。



图 6 不完整接头图像

令待识别接头在纵轴上的最大最小坐标分别为 Cmax 、 Cmin , 方差为 η , 则样本接头的方差均值取它的接头矩形区域在区间 $[\text{Cmin}, \text{Cmax}]$ 的像素方差均值, 令为 η' , 用公式(6)对接头进行识别:

$$C = \arg \min_i [c_1 \text{abs}(\eta - \eta'(i)) / \max(\eta, \eta'(i)) + c_2 \text{abs}(r - r(i)) / \max(r, r(i) + c_3)] \quad (6)$$

其中, $\eta'(i)$ 和 $r(i)$ 分别表示第 i 个样本的方差均值和宽高比。 $\text{abs}(\cdot)$ 表示绝对值。 C 为最后识别类型, c_1, c_2, c_3 为权值, 其值在 4 中讨论。

这里注意到, 对于同一个接头来说, 不管接头是

否完整, 它的宽高比变化很少, 因为这个宽度比实质上反映了整个接头的倾斜程度. 当 C_{min} , C_{max} 分别为图像的最左和最右时表示接头完整.

5 实验数值的获取

5.1 R 阈值的获取

对于平滑度阈值的设置, 经过实验, 找出了接头点定位的精确度与平滑度阈值 R 的关系, 其关系曲线如图 7 所示.

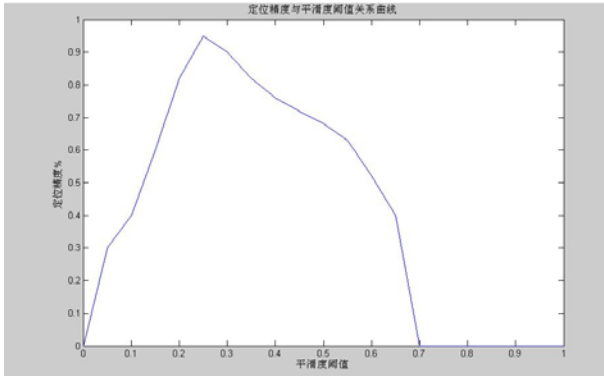


图 7 精确度与平滑度关系曲线

从图 7 可以得出, 随着平滑度阈值的增大, 定位精度也在逐步提高, 但是在平滑度阈值达到 0.25 左右时, 定位精度达到最高, 超过这个阈值, 检测的精度则逐渐下降, 其下降的原因, 是由于强力输送带的接头区域的面积是一定的, 随着平滑度阈值的增加, 检测到的接头区域的面积在逐渐减小, 导致定位精度下降, 以至于在平滑度达到 0.7 时已经检测不到接头区域了.

一般情况下, 通过平滑度 R 与设定的某个阈值的比较形成一幅平滑度图像, 但是在实际当中, 要求每秒处理 15-20 帧的图像, 这就要求尽可能的节省每帧处理的时间. 经过分析发现 R 与 u 有一一映射关系, 因此, 在实际工作中, 把 R 的阈值转换为 u 的阈值, 而不直接计算 R , 省去了计算 R 的加法、减法、平方、归一化等的操作, 节省了很多时间. (1) 计算平方与计算绝对值相比, 计算平方要多很多时间, 而且次数是 $m \times n - 1$ 次, 其中 m 为图像的行数, n 为图像的列数, 本文中 m 为 512, n 为 768, 以下 m, n 和此意义相同, (2) 可以省去 $m \times n$ 个方差的归一化计算, (3) 可以省去 $m \times n$ 次对平滑度的计算. 通过在 matlab 程序中, 应用 R 阈值判别需要 0.0168s, 直接应用映射后的 u 需要 0.0114s, 映射后的运行时间有所下降.

5.2 c_1, c_2, c_3 的取值的获取

从训练样本中随机提取若干个样本数据, 本文所选的样本数据如表 1 所示.

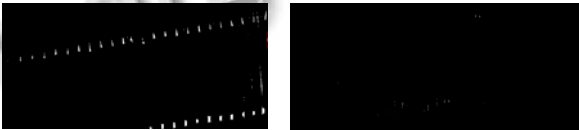
表 1 训练样本数据值

C	η	r	$\eta'(i)$	$r(i)$
0	65.8184	3.9058	78.8170	3.8065
1	65.8184	3.9058	64.3061	3.8289
0	65.8184	3.9058	75.8407	5.0065
0	65.8184	3.9058	72.8210	3.6224
0	65.8184	3.9058	54.7510	0.8690
0	65.8184	3.9058	50.9294	1.2979
0	65.8184	3.9058	72.0281	4.3275

表 1 中 C 为最后识别类型, $C = 1$ 表示同一个接头, $C = 0$ 表示不同接头. η 为待识别接头方差, r 为待识别接头宽高比. $\eta'(i)$ 和 $r(i)$ 分别表示第 i 个样本的方差均值和宽高比. 经过最小二乘法拟合后得到 c_1, c_2, c_3 的取值分别为 $c_1 = -5.2060$, $c_2 = 0.3604$, $c_3 = 0.7130$.

6 实验结果分析

为了检验算法的有效性, 随机选择了一些带有接头区域和非接头区域的图片, 进行接头定位和识别. 使用 3.1 中的接头定位方法, 可以准确的定位接头区域图像和非接头区域图像. 图 8 展示了使用接头定位方法后定位到的接头区域和非接头区域图像.



(a) 接头区域图像 (b) 非接头区域图像

图 8 使用接头定位方法后定位到的接头区域和非接头区域图像

对于已经定位出接头的图像, 使用 3.2 的接头点识别算法, 对于识别为同一个接头区域, 它们的矩形区域内的像素方差和宽高比如表 2 所示.

表 2 应用本算法识别为同一个接头点的两幅图像矩形区域的参数比较

	矩形区域内方差	矩形区域宽高比
图像 1	65.8184	3.9058
图像 2	64.3061	3.8289

同一个接头的两个图像, 它们删除小对象区域后的图像如图 9 所示.



(a)接头图像1去除小区域后图像 (b)接头图像2去除小区域后图像

图 9 同一个接头的两个图像, 它们删除小对象区域后的图像

对于不是同一个接头的两幅图像来说, 使用本算法它们的这两个特征值相差较大, 如表 3 所示.

表 3 应用本算法识别为不是同一个接头点的两幅图像矩形区域的参数比较

	矩形区域内方差	矩形区域宽高比
图像 1	64.3061	3.8289
图像 2	75.8407	5.0065

它们删除小对象区域后的图像如图 10 所示.



(a)接头图像1去除小区域后图像 (b)接头图像2去除小区域后图像

图 10 删除小对象区域后的图像

对于不完整的接头图像, 使用本算法也能很好的识别出同一个接头点. 图 11 显示了不完整的接头点与完整的模板接头区域处理后的图像.

从定位和识别结果看, 该算法能够有效的找出接头点区域, 并能很好的识别同一个接头点. 从实验结果看, 本算法能够满足对强力输送带接头点的定位和识别的要求.



(a)完整的模板 (b)不完整的接头图像 (c)根据(b)从(a)截取到的接头图像

图 11 不完整的接头点与完整的模板接头区域处理后的图像

7 结语

针对目前煤矿上使用的钢丝绳芯输送带的特点, 综合运用统计学中的均值、方差、平滑度, 以及图像处理技术, 提出应用接头区域方差均值以及宽高比作为特征, 提出了接头的识别方法, 这种识别方法不仅适用于整个接头的识别还可以识别只有部分接头数据的情况. 实验表明, 该算法具有很好的鲁棒性和准确性.

参考文献:

- 1 洪留荣. 强力输送带接头识别算法. 工矿自动化, 2012, 4: 9-12.
- 2 朱平, 胡鹏, 孙健. 钢丝绳芯输送带 X 射线检测系统图像分析算法. 工矿自动化, 2014, 3: 38-41.
- 3 阮炜, 郑明山. X 射线检测钢丝绳芯成像系统设计. 自动化技术与应用, 2005, 24(12): 62-64.
- 4 Gonzalez RC, Woods RE. 阮秋琦等, 译. Digital Image Processing. 3rd Edition. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- 5 Gonzalez RC, Woods RE, Eddins SL. 阮秋琦等, 译. Digital Image Processing Using MATLAB. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- 6 张涛, 平西建, 徐长勇. 基于图像平滑度的空域 LSB 嵌入的检测算法. 计算机辅助设计与图形学报, 2006, 18(10): 1607-1612.