

DOI: 10.3901/JME.2009.04.111

热轧带钢表面缺陷在线检测的方法与工业应用*

徐 科 杨朝霖 周 鹏

(北京科技大学高效轧制国家工程研究中心 北京 100083)

摘要: 热轧带钢表面的温度高, 辐射光强, 并且存在着水、氧化铁皮、光照不均等现象, 与冷轧带钢的表面存在着很大的差别。将线阵 CCD 摄像机作为图像采集装置, 用绿色激光线光源作照明, 通过窄带滤色镜滤除钢板表面的辐射光, 从而提高了缺陷对比度。根据热轧带钢表面的特点提出新的缺陷检测与识别算法流程, 通过增加 4 种不同类型的缺陷检测步骤, 去除了大量由水、氧化铁皮等造成的伪缺陷, 在保证缺陷检出率的同时, 减小缺陷的误识率。经在线应用, 该方法可以满足在线检测的要求, 缺陷的检出率达 95% 以上, 识别率达 85% 以上。

关键词: 热轧带钢 表面缺陷 在线检测 表面检测

中图分类号: TH741.3

Technology of On-line Surface Inspection for Hot-rolled Steel Strips and Its Industrial Application

XU Ke YANG Chaolin ZHOU Peng

(National Engineering Research Center of Advanced Rolling Technology,
University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)

Abstract: Surface of hot-rolled steel strips is different from surface of cold-rolled steel strips, because it has high-temperature and intense radiation. Moreover, there are waters, scales, uneven illumination on hot-rolled steel strips. Line-scan CCD cameras are introduced to capture images, and green linear lasers are applied for illumination. Radiation of hot-rolled steel strips is filtered by narrow-band filter lens, and contrast of defects is improved. According to the characteristics of hot-rolled steel strips, a new algorithm of defect detection and classification is developed. A step of defect detection for four different types of defects is added to remove false defects caused by waters, scales, etc., and false detection is decreased while detection rate of defects is not worsen. Results of industrial application show that the technology can be applied to on-line inspection, and detection rate of defects is higher than 95% while classification rate of defects is higher than 85%.

Key words: Hot-rolled steel strip Surface defect On-line inspection Surface inspection

0 前言

由于热轧带钢生产线的温度高、速度快, 无法通过人工进行表面质量在线检测。为了能够了解热轧带钢的表面质量状况, 一般采用打开带卷尾部抽查的方式^[1]。这种离线抽检的方式无法做到对带钢表面质量及时的反馈与全面的了解, 不仅会给企业带来经济损失, 而且容易造成用户质量异议事件, 影响企业的信誉。使用表面在线检测系统是解决这一问题的唯一方法^[2]。目前, 国内外对冷轧带钢表

面在线检测技术研究比较多, 并且也取得了一些成功应用的实例^[3-4]。与冷轧带钢表面检测相比, 热轧带钢表面检测具有更大的难度。除了热轧带钢生产线的环境恶劣, 表面检测设备的安装与防护难度很大之外, 热轧带钢表面缺陷的检测与识别算法是另外一个难点。由于热轧带钢表面温度高, 辐射光的强度大, 并且存在着大量的水、氧化铁皮及光照不均现象, 会对缺陷检测与识别的算法造成很大的影响。而冷轧带钢表面没有辐射光, 并且基本不存在水的干扰, 氧化铁皮及光照不均现象也非常少, 因此, 热轧带钢表面缺陷检测与识别算法的开发难度更大。

本文将对热轧带钢表面缺陷的检测与识别算

* 国家自然科学基金(60705017)和“十一五”国家科技支撑计划(2006BAE03A06)资助项目。20080624 收到初稿, 20081114 收到修改稿

法进行研究,根据热轧带钢表面的特点建立与冷轧带钢表面缺陷不同的算法流程,在保证缺陷检出率的同时,又能降低缺陷的误识率,同时也能保证算法的实时性,满足系统的在线检测要求。

1 检测原理

国外的检测系统一般采用面阵 CCD 摄像机为图像采集设备,并且用频闪氙灯为照明设备^[5]。但是面阵 CCD 摄像机采集钢板表面图像需要在带钢运行方向上有一个很大的采集空间,一般超过 100 mm,而热轧生产线辊道的间距一般为 40~80 mm。为了保证下表面图像的采集,需要拆掉一根辊子,或加大辊间距,这样就增加系统安装的难度,并且给生产线带来安全隐患。本文的检测方式如图 1 所示,采用线阵 CCD 摄像机作为图像采集设备,并且用绿色激光线光源为照明设备。

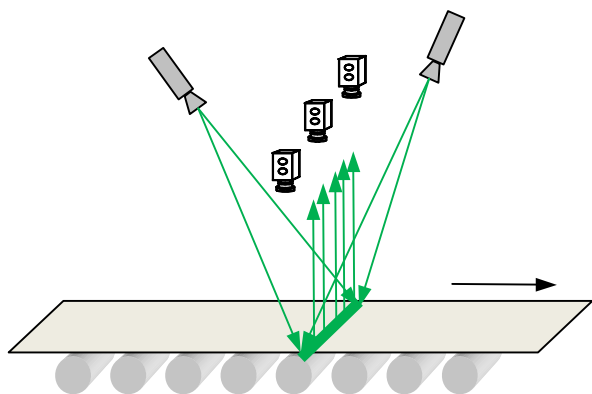


图 1 检测示意图

将多台线阵 CCD 摄像机安装在带钢的宽度方向上,根据带钢宽度和检测精度要求可选用 2~4 台线阵 CCD 摄像机,每台摄像机都与钢板表面垂直。两台激光线光源分别安装在摄像机两侧,每台激光线光源的光平面与钢板表面夹角成 89° ,接近于垂直。将激光线光源照射到钢板表面,线阵 CCD 摄像机采集钢板表面反射的光。由于钢板表面温度很高,辐射的红光及红外光很强,为了避免钢板表面辐射的影响,每台摄像机前安装窄带的绿光滤色镜,只允许绿光波段通过,这样就滤除了钢板表面的辐射光,提高了缺陷对比度。

2 缺陷检测与识别算法流程

2.1 冷轧带钢表面缺陷检测与识别流程

冷轧带钢的表面缺陷检测与识别流程如图 2 所示^[6-7]。可以看到,数字图像需要经过 4 个步骤来处

理:目标检测、图像分割、特征提取和缺陷分类。

目标检测:检测图像中是否可能存在缺陷,如果可能存在缺陷,则该图像存入计算机缓存,以便下一步处理;如果没有缺陷,则不保存这幅图像。

图像分割:找出缺陷所在的区域,即对缓存中的图像进行处理,确定图像中缺陷所在的区域。

特征提取:根据缺陷所在的区域计算缺陷的特征值,以便对缺陷进行分类。

缺陷分类:通过输入的特征值,对缺陷进行分类,以确定缺陷的类型和严重程度。

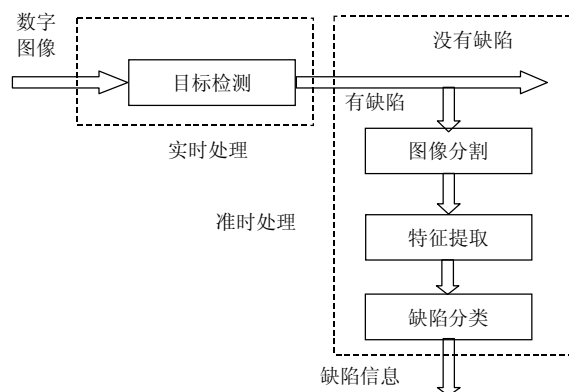


图 2 冷轧带钢表面缺陷检测与识别流程

每幅图像都要经过目标检测步骤,因此目标检测步骤需要实时完成,称为实时处理。而图像分割、特征提取和缺陷分类三个步骤只是针对缓存中有缺陷的图像才进行的,只要缓存没有被充满,可以在 CPU 有空闲的时候完成这三个步骤,因此称为准时处理。实时处理针对的是每幅图像,因此处理的数据量大,但是应用的算法简单。准时处理只是针对有缺陷的图像,因此处理数据量少,但是为了保证缺陷的识别率,采用了较为复杂的算法。通过实时处理与准时处理两种方案,既保证了数据处理的实时性,同时也保证了缺陷的识别率^[8]。

2.2 热轧带钢表面缺陷检测与识别流程

冷轧带钢表面缺陷检测与识别流程中的一个重要步骤是目标检测,即判断采集到的图像中是否存在着缺陷,只有存在缺陷的图像才被存到计算机缓存中,以便下一步处理。由于冷轧带钢表面质量好,背景比较简单,缺陷或伪缺陷的区域相对较少。因此,经过这一步骤可以大大减少下一步处理的图像数量,减轻下面步骤需要的处理时间。但是对于热轧带钢来说,由于其表面存在着大量的水、氧化铁皮及光照不均现象,如果用简单算法判断的话,存在这些现象的图像都会被认为有缺陷,那么目标检测步骤达不到减少图像数量的目的,起不到该步

骤应有的作用。

针对热轧带钢表面的特点，本文设计了热轧带钢表面缺陷检测与识别流程，如图 3 所示。

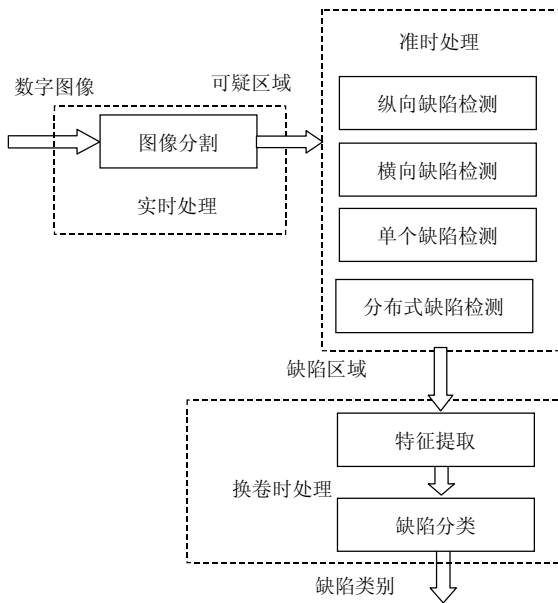


图 3 热轧带钢表面缺陷检测与识别流程

与图 2 相比，图 3 中最大的变化是没有目标检测步骤，但是增加了 4 种不同类型的缺陷检测步骤。这一变化是根据热轧带钢表面的特点作出的，根据前面所述，对于热轧带钢表面图像，目标检测步骤无法起到应有的效果，因此，图 3 中去除了目标检测步骤。4 种不同类型的缺陷检测步骤是根据热轧带钢表面缺陷的特点设置的，其目的是为了筛选可疑区域，减少由伪缺陷组成的可疑区域数量。由图 3 可见，热轧带钢表面缺陷的检测与识别需要经过以下的步骤。

图像分割步骤：寻找可能存在缺陷的区域，该区域称为可疑区域，可疑区域可能由缺陷形成，也可能由伪缺陷形成。可疑区域的数据保存在计算机缓存中，以便进一步处理。由于每幅图像都要经过这一步骤，所以这一步骤需要实时完成，只能使用简单的算法。这一步骤的关键是要尽可能把所有的缺陷区域都找出来，以便避免缺陷的漏识；但同时又不能找出太多的伪缺陷，以便减少可疑区域的数量，减轻下面步骤的运算量。

缺陷检测步骤：由于可疑区域中会包含一些伪缺陷，如果将这些伪缺陷直接用于缺陷分类，那么会造成大量的误识，即将伪缺陷识别成缺陷。所以需要可疑区域进行筛选，保证可疑区域尽可能由真缺陷组成。可疑区域筛选有两种方法，一种方法是去除伪缺陷，另一种是挑选真缺陷。由于伪缺陷

基本由水、氧化铁皮与光照不均现象引起，很难找到算法将它们直接去除，因此只能采取第二种方案。热轧带钢表面缺陷从其形态与分布上可以分为下面 4 类。

(1) 纵向缺陷：沿带钢轧制方向分布，一般在轧制方向有大的尺寸，但在宽度方向上的尺寸比较小，如纵裂和划伤等。图 4a 为一纵裂样本图像。

(2) 横向缺陷：沿带钢宽度方向分布，一般在带钢宽度方向上有大的尺寸，但在轧制方向上的尺寸比较小，如横裂和横向辊印等。图 4b 为一横向辊印样本图像。

(3) 单个缺陷：一些面积比较大的缺陷，这些缺陷不具有明显纵向分布和横向分布特点，如夹杂、气泡、结疤和折叠等。图 4c 为一夹杂样本图像。

(4) 分布式缺陷：这在一定范围内密集分布，虽然单个缺陷的面积不大，但是分布的面积比较广，如麻面、某些压痕等。图 4d 为一麻面样本图像。

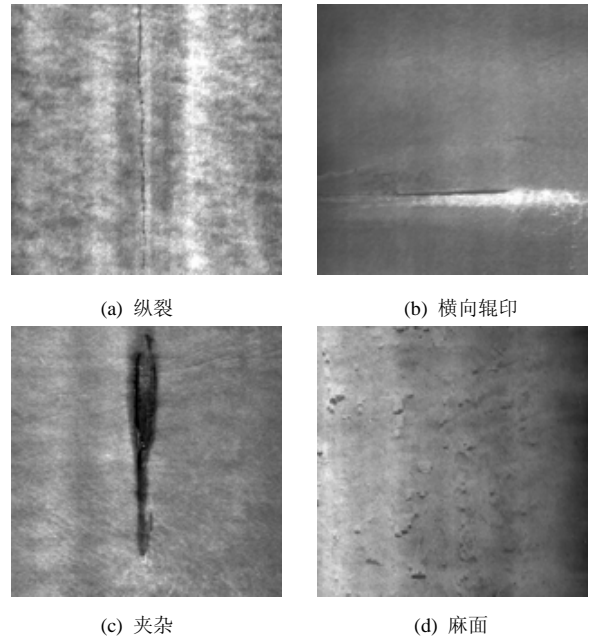


图 4 4 种不同类型的缺陷样本示例

根据这 4 类缺陷的特点，对可疑区域进行筛选，从可疑区域中找出具有上述特征的 4 类缺陷，并组成缺陷区域。图 5 是图 4 所示 4 种不同类型缺陷的缺陷检测步骤示例。图 5a 中的白色区域内是纵裂缺陷的缺陷区域，图 5b 中的白色区域内是横向辊印的缺陷区域，图 5c 中的白色区域内是夹杂缺陷，图 5d 中的白色区域内是麻面缺陷。由图 5 所示例子可以看出，经过缺陷检测步骤后，可以提取到完整的缺陷区域，并且去除一些由噪声、光照不均和其他因素造成的伪缺陷区域，因此，得到的缺陷区域数量比可疑区域数量少得多。

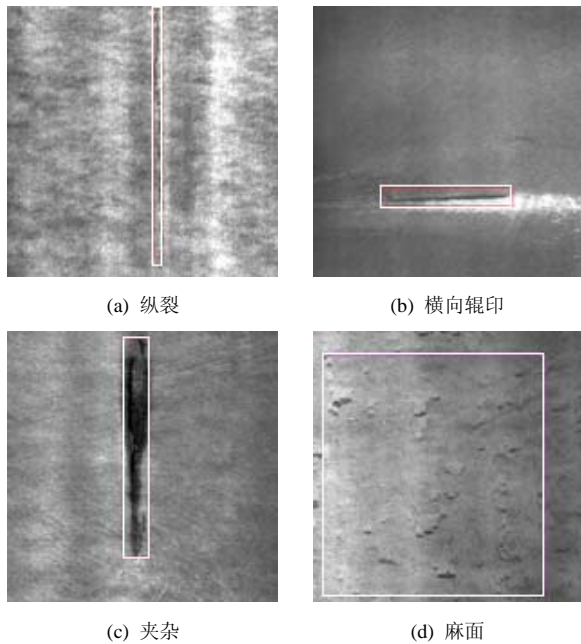


图 5 缺陷检测步骤示例

特征提取与缺陷分类步骤：经过缺陷检测步骤，大部分的伪缺陷被去除了，但是还会存在一些伪缺陷。而且，需要对检测到的缺陷进行自动分类。特征提取与缺陷分类步骤用于对缺陷进行自动分类，以识别缺陷的类型，并去除剩余的伪缺陷。

由于每幅图像都要经过图像分割步骤，所以图像分割步骤需要实时完成。而图像分割步骤后得到的可疑区域保存到计算机缓存中，因此，缺陷检测步骤可以在 CPU 有空闲的时候进行，采取准时处理的方式。经过缺陷检测步骤后得到的缺陷区域保存到服务器中，因此，特征提取与缺陷分类步骤可以在换卷时再进行。通过实时处理、准时处理和换卷时处理这三种方式，可以既保证数据处理的实时性，同时也保证缺陷的检出率与识别率。

3 工业应用

本文提出的热轧带钢表面缺陷在线检测方法已经在国内某条 1700 热轧带钢生产线上得到了应用。在线应用的系统共用了 8 台 1 024 像素的线阵 CCD 摄像机，上下表面各用 4 台，摄像的最高采集速度为 36 000 线/s。系统达到的技术指标如下。

(1) 检测速度为 18 m/s。

(2) 检测精度为带钢板横向上 0.4 mm，纵向上 0.5 mm。

(3) 对生产线上常见表面缺陷的检出率为 95% 以上。

(4) 对生产线上常见表面缺陷的识别率为 85%

以上。

在线应用时，线阵 CCD 摄像机采够 512 行时就将图像传给计算机进行处理，因此计算机处理的每幅图像大小为 $1\,024 \times 512$ 像素，数据量为 0.5 MB。为了保证在线检测的要求，每幅图像需在 30 ms 内处理完。对于一幅 $1\,024 \times 512$ 像素的图像，图像分割步骤所花费的时间约为 20 ms。缺陷检测步骤所花费的时间与可疑区域的数量有关，但平均时间约为 10 ms。特征提取与缺陷分类所花时间与缺陷区域数量有关，但平均时间也约为 10 ms。如果采取串行处理的方式，那么对于一幅 $1\,024 \times 512$ 像素的图像，一共需要的处理时间为 $20+10+10=40$ ms，这样就无法保证在线检测的要求。而且，如果可疑区域或缺陷区域较多的话，40 ms 的处理时间是不够的，这样就会产生丢帧现象，造成缺陷的漏检。采用本文提出的算法流程，则可以保证在 30 ms 内完成图像分割与缺陷检测步骤，而特征提取与缺陷分类步骤可在换卷时进行。这样，可以保证在线检测的要求，避免丢帧现象以及缺陷的漏检。

4 结论

(1) 采用线阵 CCD 摄像机作图像采集设备，解决了基于面阵 CCD 摄像机的检测系统需要拆辊或加大辊间距的问题。

(2) 采用激光光源作照明，利用激光的单色性，解决了热轧带钢表面辐射光的干扰，提高了缺陷对比度。

(3) 根据热轧带钢表面的特点提出新的算法流程，在保证缺陷检出率的同时，又能降低缺陷的误识率，同时也能保证算法的实时性，满足系统的在线检测要求。

参 考 文 献

- [1] 刘钟, 吴杰, 张华. 热轧带钢表面质量检测系统的工程设计与实践[J]. 宝钢技术, 2005, 13(6): 57-60.
LIU Zhong, WU Jie, ZHANG Hua. Design and practice of the hot strip surface quality inspection system[J]. Baosteel Technology, 2005, 13(6): 57-60.
- [2] 吴平川, 路同浚, 王炎. 机器视觉与钢板表面缺陷的无损检测[J]. 无损检测, 2000, 22(1): 13-16.
WU Pingchuan, LU Tongjun, WANG Yan. Machine vision technology and nondestructive of the surface defects in strip steel[J]. Nondestructive Testing, 2000, 22(1): 13-16.
- [3] 胡亮, 段发阶, 丁克勤, 等. 钢板表面缺陷计算机视觉 (下转第 124 页)