

基于视觉的列车车轮踏面擦伤定位方法^{*}

赵 勇

(长安大学 工程机械学院机械系 道路施工技术与装备教育部重点实验室,
陕西 西安 710064)

摘 要: 为了实现列车车轮踏面擦伤检测,建立了基于机器视觉的踏面擦伤动态检测系统。对该系统中踏面擦伤可疑图像区域定位技术进行了研究。首先,采用快速中值滤波算法平滑原始图像,然后采用基于 Canny 算法的踏面区域分割算法提取踏面区域,再根据踏面擦伤图像特征设计了基于踏面边缘线扫描搜索擦伤可疑区域的方法提取擦伤可疑图像区域。实验结果表明,该系统对擦伤的定位准确率为 97.62%,漏识率为 2.38%,误识率为 3.81%,为后续擦伤的识别奠定了基础。

关键词: 车轮踏面;视觉;擦伤

中图分类号: U260.331

文献标识码: A

文章编号: 0258-7998(2011)08-139-03

Research on peeling defect location method of wheel tread based on vision

Zhao Yong

(Key Laboratory of Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, School of Engineering Machinery,
Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: In order to realize peeling defects inspection for the train wheel tread, a defect inspecting system of the train wheel tread based on computer vision was established and suspicious regions of peeling defects location method was investigated. Firstly, the original tread image was smoothed by fast medium filter algorithm. Then the tread region was extracted by tread segmentation technology based on Canny algorithm. Finally, the peeling defect location method based on tread edge lines searching way was used to locate the peeling defect suspicious regions. The experimental results show that the correct rate of peelings location comes to 97.62%, the missing recognition rates of the peelings is 2.38%, false acceptance rate is 3.81%. It can lay the basis for peeling defects recognition.

Key words: train wheel tread; vision; peeling

车轮踏面为车轮在钢轨面上滚动接触的部位,由于制动、轮对与钢轨间隙的冲撞以及轮对与钢轨面在转弯时的相对滑动等因素造成的踏面擦伤,给车辆和钢轨带来额外的冲击振动,严重影响列车平稳运行和铁路线路的使用寿命。随着我国铁路不断提速以及重载列车的增加,加速了踏面擦伤数量的增加,对车轮检测和维修提出了更高的要求。因此,研制运行状态下的车轮踏面擦伤在线动态检测系统已成为我国轨道交通发展中迫切需要解决的难题。

国外自 20 世纪 70 年代开始对车轮踏面擦伤自动检测方法进行研究,提出的检测方法主要有振动法^[1]、

共振解调法^[2]、电磁超声检测法^[3-4]、冲击载荷法^[5]。但国内起步较晚,自 20 世纪 90 年代才开始对踏面擦伤动态检测系统进行研究,主要采用的方法有振动法^[6]、共振解调法^[7]、踏板法^[8]、电磁超声检测法^[9]、冲击载荷法^[10]。以上提到的踏面擦伤检测方法都存在测量精度低和车轮检测兑现率低的缺点。目前,在我国铁路系统没有一种理想的检测方法,车辆检修部门仍然采用人工目视、静态测量或凭经验听声音的方法检测,这种方法的缺点是劳动强度大、测量精度低。而机器视觉检测技术具有检测速度快、测量精度高、重复性好等优点,在缺陷检测方面得到了广泛的应用^[11-14]。因此,利用机器视觉检测技术配合其他动态测量方法检测踏面擦伤对提高车轮检测兑现率、提高劳动效率、检测精度和促进数字化铁路

^{*} 基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助和长安大学基础研究支持计划专项基金资助(CHD2009JC102)

的实现具有重要意义。

基于此,本文首先建立了基于机器视觉的车轮踏面擦伤动态检测系统,提出了基于 Canny 算法的踏面区域分割算法和一种基于踏面边缘线扫描搜索的擦伤区域提取的算法。实验结果表明,本文算法可以有效地进行踏面擦伤可疑区域的定位。

1 系统结构

系统总体结构如图 1 所示,系统由左侧和右侧车轮检测装置、交换机和高速计算机组成。左侧和右侧车轮检测装置分别安装在铁轨两侧,都是由 3 台数字摄像机、3 个光源、3 个车轮触发器组成。检测原理是:列车低速进入检测区段,当车轮触发器检测到车轮时,光源打开,摄像机采集到踏面图像,通过以太网并经过交换机传送到高速计算机内进行图像处理和识别。

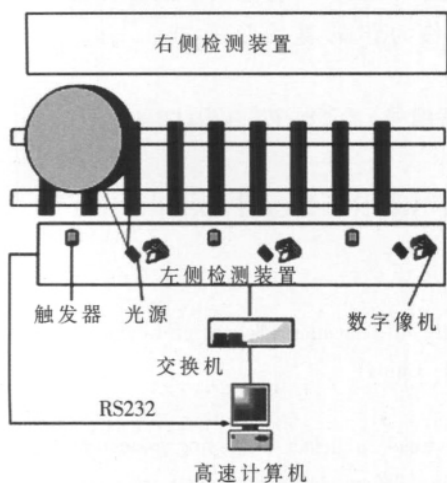


图 1 系统总体结构

2 踏面擦伤可疑区域定位算法

图 2 是擦伤检测算法流程图。踏面擦伤检测包括擦伤可疑区域定位和擦伤识别两个模块。其中,擦伤可疑区域定位模块包括图像平滑、踏面区域分割和擦伤可疑区域检测三部分。

图像平滑的作用是去除图像噪声;踏面区域分割的目的是分割出踏面擦伤所在的区域;擦伤可疑区域检测是在踏面区域内找到擦伤可疑区域;擦伤识别是利用识别算法进一步判断可疑区域是否属于擦伤。本文重点介绍擦伤可疑区域定位算法。

2.1 图像平滑

图像平滑的目的是去除图像噪声。本文选用快速中值滤波算法平滑图像。

2.2 踏面区域分割

踏面区域分割的目的是缩小检测的范围。算法实现

过程如下:

- (1)采用传统 Canny 算法提取图像边缘线。
- (2)采用轮廓跟踪法跟踪边缘,去除链码长度小于一定阈值的线段。
- (3)判断保留下的两条不同的边缘线之间的最大距离(max)和最小距离(min),把满足 $\max < T_{\max}$ 且 $\min > T_{\min}$ 的两条线保留下来,去除其他干扰线。 T_{\max} 和 T_{\min} 根据标准轮子的宽度确定,保留下来的两条边缘线一条是踏面边缘线,另外一条是轮缘边缘线。
- (4)从保留的两条边缘线中选择长度最大的一条边缘线,如果该边缘线位于另外一条边缘线的右侧,则该边缘线为踏面边缘线,向轮缘方向平移标准踏面图像宽度,得到踏面区域的另外的一个踏面边缘线;如果该边缘线位于另外一条边缘线的左侧,则该边缘线为轮缘边缘线,向踏面方向依次平移标准轮缘图像宽度和标准车轮宽度得到踏面区域的两条踏面边缘线,截取边缘线之间的图像区域即为踏面区域。

2.3 踏面擦伤可疑区域检测

擦伤区域特征是擦伤线沿踏面边缘线方向分布,而且擦伤线上点的灰度值变化小。本文根据擦伤特征设计了一种基于踏面边缘线扫描搜索的擦伤可疑区域提取技术,根据 2.2 节得到的踏面边缘线,在踏面区域内,踏面边缘线依次移动一个像素,得到覆盖踏面区域的所有扫描线,定义扫描线为图像的列。算法具体步骤如下(设 $j=1$):

- (1)选取踏面区域的平均灰度值为阈值,对踏面区域进行全局阈值分割,小于阈值的点像素值为 0,其余点像素值为 255。
- (2)沿第 j 列从上到下逐个计算当前像素点像素值与相邻两点的像素值的差值绝对值是否大于 255,如果有一个值大于 255,则标记当前像素点为跳变点,直到此列上所有跳变点标记完毕。
- (3)判断第 j 列相邻的跳变点之间像素个数 N_1 ,若 $N_1 > T_c$,则标记该列两个跳变点之间的线段为一条擦伤线。其中 T_c 的值根据铁道部规定的擦伤最小长度确定。
- (4)迭代循环 $j=j+1$,转步骤(2),直到踏面区域内的所有列判断结束。

(5)擦伤线的合并。合并原理:对两条擦伤线(A 和 B),设 A 的两端点坐标分别为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) , B 的两端点坐标分别为 (x_3, y_3) 、 (x_4, y_4) ,两条线的横向距离 H 和纵向距离 V 分别用如下公式计算:

$$H = |x_3 - x_1|$$

$$V = \min(|y_1 - y_3|, |y_1 - y_4|, |y_2 - y_3|, |y_2 - y_4|)$$

选取阈值 T_{d1} 和 T_{d2} ,如果 $H < T_{d1}$ 且 $V < T_{d2}$,则认为两条擦伤线为同一个擦伤区域内的擦伤线。本文 T_{d1} 为 15, T_{d2} 为 50。

3 实验结果及分析

为了验证本文算法的有效性,在安康车辆段搭建踏面擦伤动态检测实验硬件平台,并利用自行编制的软件

《电子技术应用》2011 年第 37 卷 第 8 期

检测 2 000 个车轮踏面。实验硬件平台选用型号为 pi-a100-48gc 的德国 Basler 公司的千兆网数字面阵 CCD 摄像机,8 mm 日本 computar 镜头以及 300 W 的碘钨灯。软件运行环境:Dell D631 笔记本电脑,1 GB 内存,编程环境 Visual C++ 6.0。为了定量判断本文算法的检测效果,采用以下三个指标对算法进行评价:

定位准确率=检测到的擦伤数目/擦伤总数 (1)

漏检率=未检测到的擦伤数目/擦伤总数 (2)

误识率=检测到的非擦伤数目/擦伤总数 (3)

图 3~图 6 是其中两幅擦伤图像的可疑区域提取过程结果。图 6 中的白色矩形框锁定区域为擦伤可疑区域。表 1 为算法评价指标结果。

从图 4~图 6 可以看出,本文算法可以很好地对采集的踏面擦伤图像进行图像平滑、踏面区域分割和擦伤

可疑区域检测。从表 1 可以看出,在 2 000 幅测试图片中,擦伤定位准确率为 97.62%,误检率达到 3.81%,漏检率达到 2.38%。造成擦伤漏检的原因是:光照不均匀,造成拍摄的图片灰度也不均匀,使擦伤区域特征不明显。改进措施:采用

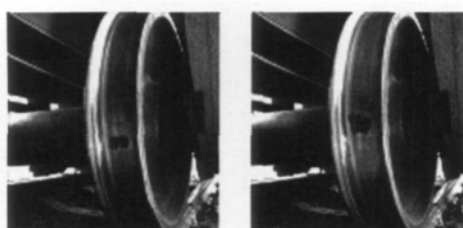
650 nm 波长可见光 LED 平行光源,CCD 前加装峰值波长为 650 nm 的带通滤光片,以降低背景光及杂散光的影响。擦伤误检的原因是:沿着轮缘边缘线出现与擦伤特征相同的油污和杂质等非缺陷,误检的擦伤在后面的识别算法中进一步识别。降低误检率的措施可以考虑在检测装置前安装清洗装置,去除一部分杂质或油污。

参考文献

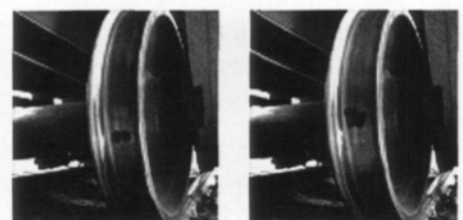
- [1] BELOTTI V, CRENN A F R, MICHELINI C. Wheel-flat diagnostic tool via wavelet transform[J].Mechanical Systems and Signal Processing,2006,20(8):1953-1966.
- [2] FRANK S A. Technique for the detection of flat wheels on railroad cars by acoustical measuring means[P].United States, Utility Patent, 4129276,1978.
- [3] DOMINICK P A.Ultrasonic wheel probe with improved acoustic barrier[P].United States, Utility Patent,4763526,1988.
- [4] ROBERT F V, WAYNE R C. Ultrasonic inspection method and system, united states[P]. Utility Patent, 7017414,2006.
- [5] TRAIAN M. A dynamic model for the impact between the wheel flat and rail, UPB scientific bulletin, series D[J]. Mechanical Engineering, 2007,69(2):45-58.
- [6] 岳建海,裴正定,李铁锚.基于连续子波变换的铁路车轮踏面擦伤的在线检测[J].铁道学报,2003,25(4):27-30.
- [7] 朱建明.机车运行部动态故障非接触式自动诊断系统的研究[J].机车电传动,1999(5):19-21.
- [8] 李景泉,刘继.车轮踏面擦伤自动检测方法的研究和试验[J].同济大学学报,2003,31(4):473-475.
- [9] 张颖滨.铁路机车、车辆车轮踏面在线自动化探伤装置[P].20030111599.3,2004.
- [10] 刘继,冯铭.车轮踏面擦伤在线自动检测方法的研究和试验[J].铁道车辆,1995,33(2):28-30.
- [11] LIN H D, Tiny surface defect inspection of electronic passive components using discrete cosine transform decomposition and cumulative sum techniques[J].Image and Vision Computing,2008,26(5):603-621.
- [12] YUAN T, KUO W. Spatial defect pattern recognition on semiconductor wafers using model-based clustering and bayesian inference[J].European Journal of Operational Research,2008,190(1):228-240.

表 1 算法评价指标结果

图片数目/幅	2 000
擦伤数目/个	210
正确定位擦伤/个	205
擦伤误检/个	8
擦伤漏检/个	5
定位准确率/%	97.62
擦伤漏检率/%	2.38
擦伤误检率/%	3.81



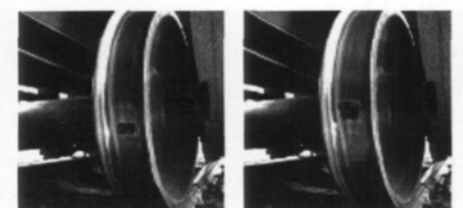
(a) 擦伤原始图像 2 (b) 擦伤原始图像 3
图 3 擦伤原始图像



(a) 图像 1 平滑结果 (b) 图像 2 平滑结果
图 4 擦伤图像平滑结果



(a) 图像 1 分割结果 (b) 图像 2 分割结果
图 5 擦伤图像踏面区域分割结果



(a) 图像 1 可疑区域检测结果 (b) 图像 2 可疑区域检测结果
图 6 擦伤可疑区域检测结果

(下转第 146 页)

表 1 传输不同大小数据时测得的平均延迟时间值

传输数据大小(位宽/8 Kb)	1	4	16	32	128
平均延迟/ μs	7.4/9.2	15.5/18.7	58.3/62.8	120.3/125.8	530.7/536.9
B_f /(MB/s)	89.5/81.9	168.2/155	204.2/200.9	210.8/206.3	224.6/223.8

输延迟是衡量数据传输速度的重要指标。

若系统中 DSP 读写 FIFO 的带宽为 B (单位时间内 DSP 间的数据传输量), 则:

$$B = \frac{f \times w}{N_{\text{setup}} + N_{\text{strobe}} + N_{\text{hold}}}$$

其中, $f=133\text{ MHz}$ 是 FPGA 内部软 FIFO 的读写时钟; $w=32\text{ bit}$ 是软 FIFO 数据总线宽度。本设计配置 $N_{\text{setup}}=N_{\text{strobe}}=1, N_{\text{hold}}=0$, 因此 B 的理论值为 266 Mb/s 。但 DSP 间数据传输的实际带宽主要受握手时间 $\tau_{\text{handshake}}$ 、写 FIFO 到半满时间 $\tau_{\text{fifo_hf}}$ 、响应中断启动读写操作时间 $\tau_{\text{gpio_interr}}$ 、接收数据时间 $\tau_{\text{data_receive}}$ 四个延迟时间影响。其中, $\tau_{\text{handshake}}$ 、 $\tau_{\text{gpio_interr}}$ 由系统时钟决定, 因此本文假设该值为固定的, 而 $\tau_{\text{fifo_hf}}$ 是由于使用 FIFO 缓存数据引入的额外时间。FIFO 的深度越长, $\tau_{\text{fifo_hf}}$ 越大, 则实际带宽 B_f 就越小; 反之则越大。

为了保证 DSP 间正确地数据通信, 则要求 DSPx 开始从 FIFO 读取数据时, ARM 还没有写满 FIFO, 即 $\tau_{\text{fifo_hf}} > \tau_{\text{gpio_interr}}$ 。

$\tau_{\text{fifo_hf}} = \frac{D_f/2}{B/w}$, D_f 表示 FIFO 深度, 可得 $D_f > \frac{2B\tau_{\text{gpio_interr}}}{w}$ 。

表 1 是 ARM 处理器分别与 DSP1~DSP4 传输不同大小数据时测得的平均延迟时间, 图 9 是根据测试数据绘出的实际带宽 B_f 曲线。可以看出, 随着传输的数据增大, B_f 逐渐逼近 B 的 266 MB/s 的理论值。

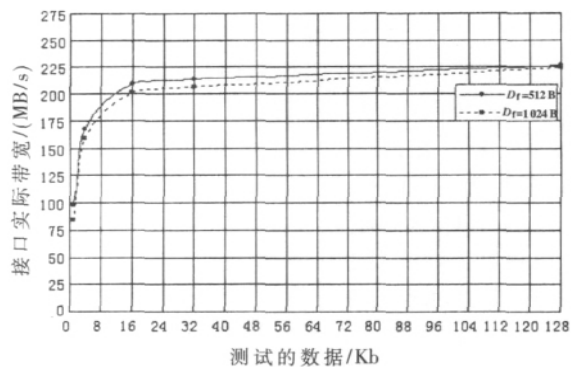


图 9 根据表 2 绘出的实际带宽曲线

本文基于 ARM、FPGA、多 DSP 设计的实时图像信号

处理系统, 使用 FPGA 芯片设计的一种高速数据传输网络互联结构, 使得该系统的数据通信能力和 DSP 的运算能力能很好地匹配; 通过数据传输控制总线, 使得数据传输十分灵活; 利用 S3C6410 对图像数据传输的调度, 图像数据处理任务的分配, 图像保存、显示、网络传输; 利用 4 个 TMS320C6416T 对图像做算法处理。经测试, 算法代码在单 DSP(TMS320C6416T 1 GHz) 平台下其处理时间小于 0.2 s , 而在本文平台下其处理时间小于 40 ms , 可以满足实时要求。另外, 该系统可广泛适用于其他图像处理、电子对抗、雷达信号处理等各个领域。

参考文献

- [1] 曹理发, 尹勇, 刘恒辉, 等. 基于 ARM 和 DSP 的视频监控系统设计与实现[J]. 电子器件, 2009, 32(1).
- [2] Cyclone Inc. Cyclone II device handbook. 2005.
- [3] 龙再川, 赵凯生, 洪明坚, 等. ARM 系统中 DMA 方式在数据采集中的应用[J]. 国外电子元器件, 2007(2).
- [4] Texas Instruments Incorporated. TMS320C6414, TMS320C6415, TMS320C6416FIXED-Point digital signal processor, 2007.
- [5] 李方慧, 王飞, 何佩琨. TMS320C6000 系列 DSPs 原理与应用(第二版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [6] Texas Instruments Incorporated. TMS320C6000 EMIF to external FIFO interface. 1999.
- [7] 周委, 陈思平, 赵文龙, 等. 基于 DSP EMIF 口、FPGA 设计并实现的多 DSP 嵌入式系统[J]. 电子技术应用, 2008, 34(12): 6-8.

(收稿日期: 2011-01-11)

作者简介

任晓波, 男, 1984 年生, 硕士, 主要研究方向: 嵌入式技术及应用和计算机视觉。

赵文龙, 男, 1963 年生, 教授, 主要研究方向: 嵌入式技术及应用, 实时仿真技术和智能控制。

唐盛, 男, 1980 年生, 博士, 主要研究方向: 医学超声图像处理。

(上接第 141 页)

(收稿日期: 2010-10-18)

[13] 刘建群, 旷辉, 丁少华. 基于视觉的表面贴装芯片引脚检测系统的研究[J]. 中国机械工程, 2007, 18(16): 1908-1912.

[14] 谢佩军, 计时鸣, 程越. 基于计算机视觉的晶振帽缺陷自动检测系统[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(5): 1080-1083.

作者简介:

赵勇, 男, 1976 年生, 博士, 讲师, 主要研究方向: 视觉检测, 模式识别。