

·信号与信息处理·

基于数字图像处理的轨道板裂纹缺陷检测

吴成和¹, 卞春华¹, 朱挺², 马千里³

(1. 南京大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210093; 2. 上海铁路局科学技术研究所, 上海 200071;
3. 南京邮电大学地理与生物信息学院, 图像处理与图像通信江苏省重点实验室, 江苏 南京 210003)

摘要: 利用数字图像处理技术, 通过轨道板图像自动分割、边缘提取、轨道板固有结构边缘去除、真伪裂纹区分等步骤, 设计了轨道板裂纹缺陷自动检测识别算法。通过对实际采集的轨道板图像的处理, 证明该方法能够准确提取和标记缺陷区域。在实验的1000幅图像中, 人工检出裂纹图像6幅, 自动识别裂纹图像6幅, 准确率达到100%, 算法运行速度经测试能够满足实时检测的需求。

关键词: 图像处理; 轨道板分割; 裂纹检测

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-01-0049-03

Research on the Algorithm for Crack Detection in Slab Track Based on Digital Image Processing

WU Cheng-he¹, BIAN Chun-hua¹, ZHU Ting², MA Qian-li³

(1. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Institute of Science and Technology, Shanghai Railway Administration, Shanghai 200071, China; 3. Jiangsu Province Key Laboratory of Image Processing & Communication, School of Geographic and Biomedical Information, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: The algorithm for automatic crack detection and identification in slab track images is designed based on digital image processing technology and many procedures such as image auto-segmentation, edge extraction, edge removing of slab track structure and false crack identification. The algorithm has been proved accurately in extracting and marking the crack region by applying to slab track images from actual acquisition. In the experiment of 1000 images, all the six manually detected crack images are also detected automatically by the algorithm, i. e., the accuracy rate is 100%. The computational speed of the algorithm can satisfy the real-time detection requirements.

Key words: image processing; slab track image segmentation; crack detection

随着高铁的不断发展, 2013年中国高速铁路总里程已超过 1.3×10^4 km, 到2020年将达到 1.6×10^4 km以上, 我国铁路快速客运网将达到 5×10^4 km以上, 连接所有省会城市和50万人口以上城市, 覆盖全国90%以上人口。一旦发生安全事故, 后果不堪设想。要保证高铁运行快速安全, 与车况、路况等因素息息相关。对于路基的情况, 铁路部门每天要组织

相关人员进行人工巡检, 遇到恶劣天气, 还要增加巡检次数, 以此来确保列车的安全, 但费时费力, 且效果不理想。近几年增加半自动人工巡检, 通过人力推车方式对路基进行检测, 效果有所提升, 但仍费时费力^[1]。

文中利用安装在轨道检测车上的线性CCD高速相机采集轨道图像^[2-4], 基于数字图像处理技术, 通过

收稿日期: 2013-10-05

基金项目: 国家自然科学基金(60501003)

作者简介: 吴成和(1988-), 男, 安徽安庆人, 博士研究生, 主要研究方向为图像处理与模式识别。

自动分割,轨道板图像预处理与边缘提取,构造固有结构边缘模板,蒙板处理,真伪裂纹区分等算法,实现了轨道板裂纹的自动化检测。

1 轨道板自动分割

检测车运行过程中每秒约采集 15 幅图像,因此在相邻两幅图像的检测过程中可以认为检测车的速度是匀速的。而图像中轨道板宽度与检测车的运行速度成反比,据此认为其图像的横向投影是近似周期性的,其周期(即图像中轨道板的宽度)使用自相关的方法进行提取。图 1 所示为算法整体设计流程图。

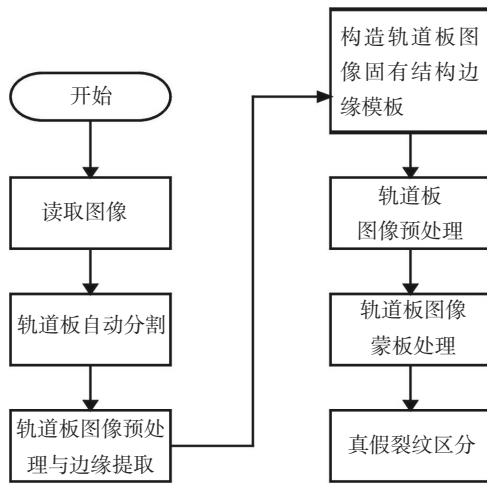


图1 算法整体设计流程图

图 1 横向投影表示为

$$Ph(y) = \sum_{x=1}^n I(x,y) \tag{1}$$

图 2a 的横向投影曲线如图 2b 所示^[5]。

求函数 $P_h(y)$ 的自相关函数,计算公式为

$$R_h(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_h(t+\tau)P_h \cdot (t)dt \tag{2}$$

结果如图 2c 所示。由于横向投影函数 $P_h(y)$ 是

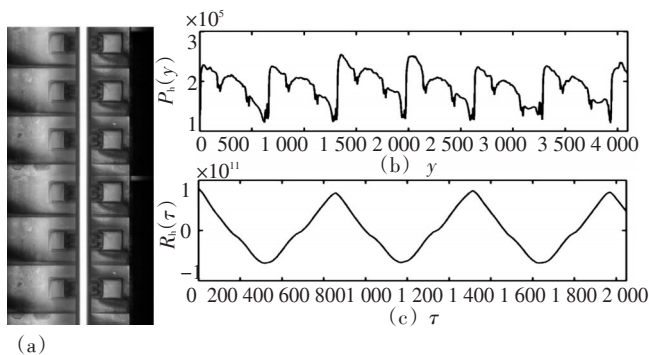


图2 轨道板图像横向投影与自相关函数

近似周期函数,周期函数的自相关函数具有与原函数相同的周期。由此可通过相邻两个峰值点的距离估计出轨道板宽度。实际应用中可以通过寻找多个峰值点求其平均作为轨道板宽度。

为确定轨道板的起始位置,根据轨道板接缝处灰度较低,且集中在同一水平线,横向投影的极小值可定为轨道板的起始位置。前文已经求出轨道板宽度,这里确定轨道板起始位置具体方法为从图像起始到轨道板宽度范围内搜索最小值,找到的最小值即为轨道板的起始点。起始点和轨道板宽度都已确定,即可进行轨道板的准确分割。

2 边缘提取

对每一幅轨道板图像做如下预处理,以得到主要边缘的二值图像:(1)以大小为 3×3 的方形滤波器进行均值滤波,结果如图 3a;(2)利用大小为 5×5,标准偏差为 0.7 的高斯-拉普拉斯滤波器滤波后,再进行直方图均衡化处理,结果如图 3b;(3)设置阈值为 85 % 进行二值化处理,结果如图 3c;(4)通过连通域检测,去除面积小于 100 个像素的区域,得到主要边缘^[6],结果如图 3d。

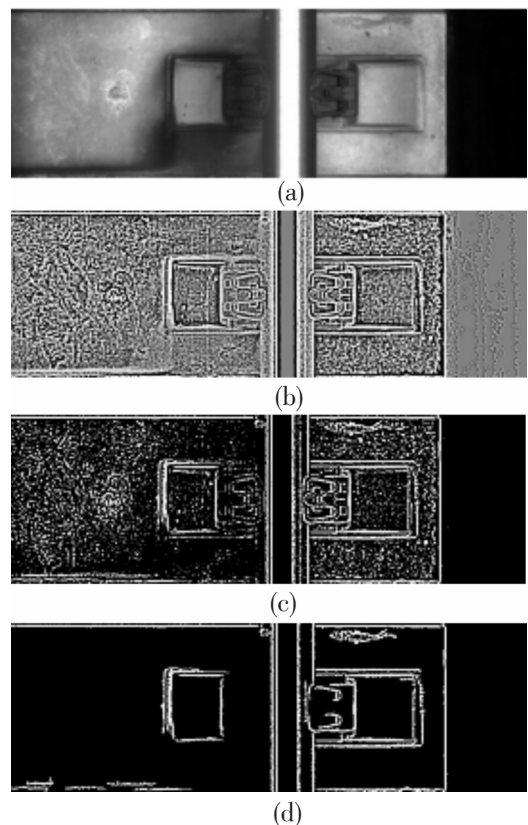


图3 轨道板主要边缘提取

3 构造轨道板图像固有结构边缘模板

利用上一步得到的100幅轨道板主要边缘二值图像,通过如下处理流程构造轨道板固有结构的边缘模板图像:(1)将100幅轨道板主要边缘二值图像进行叠加平均,结果如图4a;(2)使用一个7×7结构元素对图4a进行膨胀操作,结果如图4b;(3)根据图像特征对膨胀后图像进行局部阈值二值化处理,图像高度的0~22%,78%~100%范围内,设置阈值为1%,图像高度的22%~78%范围内,阈值为10%,由此得到轨道板固有结构的边缘模板图像,结果如图4c。

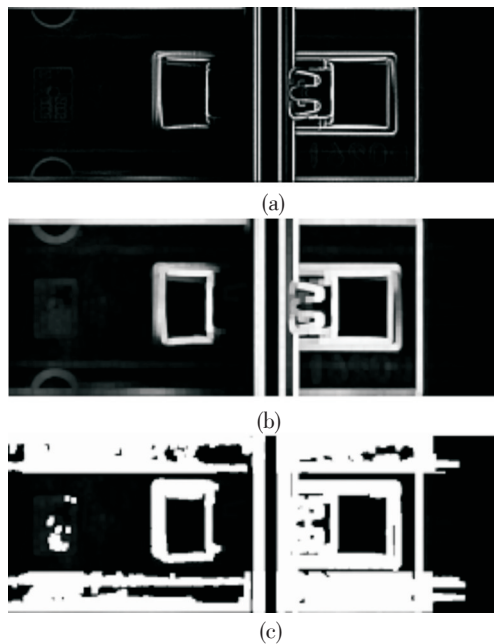


图4 轨道板固有结构模板图像构造

4 裂纹检测

首先,利用上步构造的模板图像去除轨道板固有结构的边缘。待测轨道板图像(如图5a)采用与第2节相同的预处理方法提取主要边缘(如图5b),减去轨道板固有结构边缘模板图像,如图5c。

经蒙板方法处理后留下边缘仍存在一些干扰,考虑裂纹的特征一般为非常细的黑线,而伪裂纹一般不具有这样的特征,利用下面算法去除伪裂纹。

设轨道板灰度图像(图5a)为 I ,蒙板处理后的二值边缘图像(图5c)为 B ,图像宽度为 M ,高度为 N 。

(1)找出 B 中为1的某一像素点 P , P 在图像中的行为 r ,列为 c ;

(2)如果 $I(r,c) > 150$,则置 $B(r,c) = 0$;

(3)在以 P 为中心,大小为 11×11 的窗口中统计灰度值大于 $I(r,c)$ 的像素个数为 n ,中心点周围像素灰度值与中心点像素灰度值比较结果为 n_p 。

$$n_p = \begin{cases} 1 & I(r+i, c+j) > I(r, c) \\ 0 & I(r+i, c+j) \leq I(r, c) \end{cases} \quad (3)$$

其中, i, j 均为整数, $-5 \leq i \leq 5, -5 \leq j \leq 5$ 。

$$n = \sum_{i=-5}^5 \sum_{j=-5}^5 n_p \quad (4)$$

(4)如果 $n < 85$,则置 $B(r,c) = 0$ 。

结果如图5d。最后再经过连通域检测,去除面积小于30的小区域,得到如图5e的裂纹二值边缘图像^[7-11]。

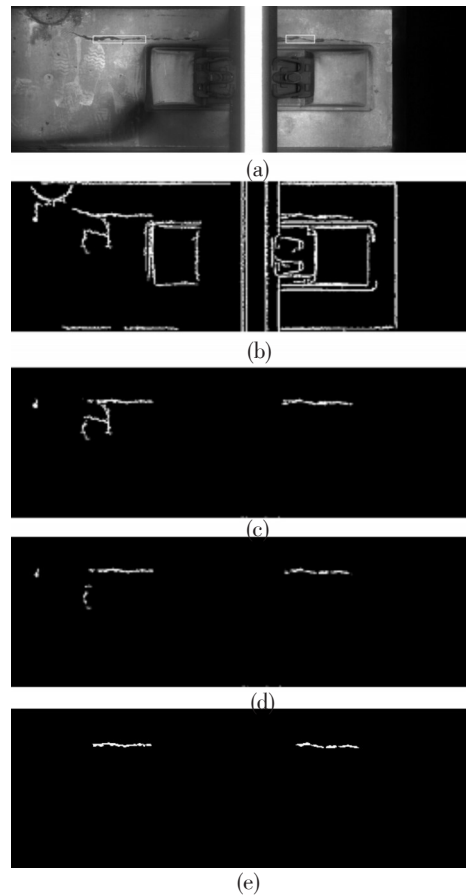


图5 裂纹检测

5 实验验证

利用数字图像处理技术,通过轨道板图像自动分割、边缘提取、轨道板固有结构边缘去除、真伪裂纹区分等方法,实现了轨道板裂纹缺陷自动检测。通过对

(下转第64页)

5 结 论

提出了以FPGA为采集及控制芯片,以FLASH为存储芯片构成的多路光电信号采集与存储系统。该系统采用内建的异步FIFO作为数据缓冲器,对数据进行处理并对FLASH进行读写操作,使多路数据能够存储进入FLASH并从中读取。仿真结果表明,该方法能够有效采集及存储多路光电信号。具有操作简单,可靠性高的特点,该方法已成功运用于弹丸坐标测试系统。若是使用多个FPGA同时对更多的光电信号进行采集,则可实现大靶面的弹丸坐标测试,将会具有更加广泛的应用前景。

参考文献

[1] 姜三平,郝晓剑,单新云.基于激光光幕和光电二极管阵列的立靶坐标测量[J].弹道学报,2011,23(3):89-92.

- [2] 杨子宁.光电自动报靶系统的设计与实现[J].科学技术与工程,2007,7(1):102-104.
- [3] 徐健,赵冬娥,邓均,等.复杂可编程器件和单片机在坐标测试中的应用[J].探测与控制学报,2010,(3):61-64.
- [4] 朱璞,董华.基于红外发光二极管和光敏元件阵列的光电靶[J].探测与控制学报,2009,31(5):64-68.
- [5] 肖凯嘉,赵冬娥,张斌.基于异步时钟的多片门阵列并行采集模块[J].探测与控制学报,2013,35(2):55-58.
- [6] 冯萍,李秀华.基于FPGA的高速高精度数据采集系统的研究[J].中国科技信息,2008,(21):105-106.
- [7] 周承仙.连发发射弹丸速度及弹着点坐标测量系统的研究[D].太原:中北大学,2008.
- [8] 邓均,周汉昌,赵冬娥,等.大面积平行光幕弹着点测试系统[J].光电工程,2010,37(3):18-23.
- [9] 倪晋平,崔长青,田会,等.四光幕交汇立靶测试系统及纸靶校准方法[J].西安工业学院学报,2004,4:319-323.
- [10] 林勇,胡家升.激光光束的整形技术[J].激光杂志,2009,29(6):1-3.

(上接第51页)

实际采集的轨道板图像的处理,证明该检测技术能够准确提取和标记缺陷区域。在实验的1 000幅图像中,人工检出裂纹图像6幅,自动识别裂纹图像6幅,准确率达到100%,裂纹检测结果如图6。测试用计算机CPU 3.00 GHz,内存2.00 GB,运行速度平均0.045 s每幅图像,能够满足实时检测的需求。

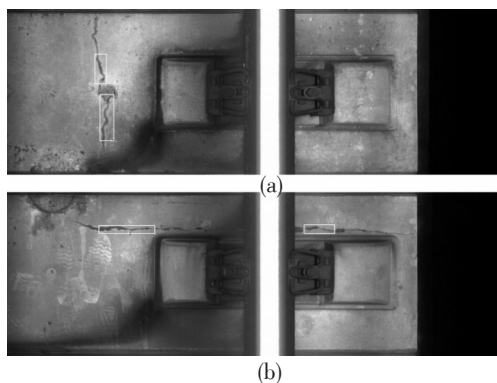


图6 裂纹检测结果

参考文献

[1] Magel E, Sroba P, Sawley K, et al. Control of rolling contact fatigue of rails[J]. Center for Surface Transportation Technology, National Research Council Canada, 2005.

[2] 汤友福,朱挺.线阵列CCD摄像技术在铁路检测领域的应用[J].铁路计算机应用,2004,13(5):23-25.

- [3] 朱挺,汤友福.线阵列CCD摄像技术在铁路电力接触线高速检测方面的应用[J].上海铁道科技,2004,3:19-21.
- [4] 朱挺.机器视觉理论用于铁路接触网检测系统的研究[J].上海铁道科技,2008,1:18-20.
- [5] 王宏,朱德生,唐威.一种基于灰度投影的带钢表面缺陷检测算法[J].东北大学学报(自然科学版),2008,3.
- [6] Gonzalez, R C, Woods R E. Digital Image Processing, Reading MA, USA: Addison Wesley, 1993.
- [7] Deutschl E, Gasser C, Niel A, et al. Defect detection on rail surfaces by a vision based system[C]//Intelligent Vehicles Symposium, 2004 IEEE. IEEE, 2004: 507-511.
- [8] Mandriota C, Nitti M, Ancona N, et al. Filter-based feature selection for rail defect detection [J]. Machine Vision and Applications, 2004, 15(4): 179-185.
- [9] Dare P, Hanley H, Fraser C, et al. An operational application of automatic feature extraction: the measurement of cracks in concrete structures [J]. The Photogrammetric Record, 2002, 17(99): 453-464.
- [10] Yamaguchi T, Hashimoto S. Fast crack detection method for large-size concrete surface images using percolation-based image processing [J]. Machine Vision and Applications, 2010, 21(5): 797-809.
- [11] Yamaguchi T, Hashimoto S. Improved percolation-based method for crack detection in concrete surface images[C]// Pattern Recognition, 2008. ICPR 2008. 19th International Conference on IEEE, 2008: 1-4.