

基于机器视觉检测钢板板形的图像处理方法研究

许博文¹, 唐朝², 张田², 李家栋²

(1. 东北大学中荷生物医学与信息工程学院, 辽宁 沈阳 110819;

2. 东北大学材料科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要: 目前钢板淬火生产线的板形只能依赖人力手工测量。为了提高效率和精度, 为淬火板形智能控制提供基础, 本项目研究了基于视觉识别的淬火钢板板形检测系统, 开发了相关的图像处理算法。基于钢板图像特征提出一种改进了的Canny边缘检测算法。改进后的Canny算法通过局部自适应阈值, 能够有效去除噪声影响, 得到高质量的激光条纹边缘。

关键词: 淬火板形; 图像处理; 边缘检测

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

An Image Processing Method for Steel Plate Shape Detection Based on Machine Vision

XU Bowen¹, TANG Chao², ZHANG Tian², LI Jiadong²

(1. School of Sino-Dutch Biomedical and Information Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. Materials Institute, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: At present, the shape of steel plate in quenching production line can only be manually measured. In order to improve the efficiency and precision and provide the basis for the intelligent control of plate shape, a plate shape detection system based on visual recognition is studied, and a related image processing algorithm is developed. Based on the image features of steel plate, an improved Canny edge detection algorithm is proposed. The algorithm can calculate the adaptive threshold, remove the noise influence effectively and get the high quality fringe of laser stripe.

Keywords: steel plate shape; image processing; edge detection

1 引言(Introduction)

中厚板是我国最重要的钢材产品之一, 其质量由其板形、尺寸、力学性能等方面综合衡量, 其中板形是生产控制的一个重要指标^[1]。工业中为了获得高品质的钢板, 一般将钢板的平直度作为钢板板形的评价指标^[2]。传统的淬火钢板平直度测量依赖工人手工测量计算, 极大的浪费了人力物力。基于机器视觉的淬火钢板板形检测系统是目前的研究热门, 拥有成本低、精度高、安装简单和易于维护等优点, 而该研究在国内外均处于起步阶段。本项目要求相机采集速率达到200fps, 每个剖面上可以计算2000个点, 并且计算精度要达到0.1mm, 因此对图像处理技术提出了非常高的要求, 需要能够快速准确的提取激光条纹的边缘。

2 板形检测系统(Shape recognition system)

2.1 系统结构

板形检测系统包含激光三角模块、图像采集模块、图像处理模块和板形计算模块。激光三角模块包含线激光器和CMOS面阵相机。线激光垂直于钢板的运动方向打在钢板上, CMOS面阵相机拍摄激光线照片, 采集卡收集CMOS相机拍摄

的图片并由计算机处理, 从处理后图片中提取数据并计算最终得到板形。

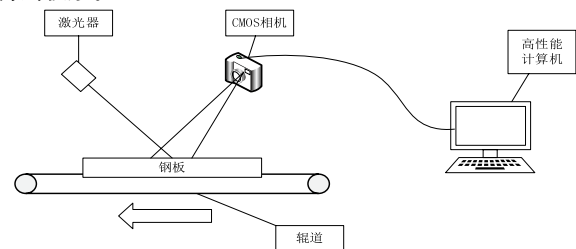


图1 系统结构

Fig.1 System structure

2.2 板形的数学描述

板形可用平行的纤维长度来描述, 而纤维长度可通过连续测量的板带高度和板带运行速度计算得出。其中运行速度由专用测速仪测量, 高度由机器视觉方法测量计算, 如图2所示。相邻两测量点高度差为 $\Delta d_i = y_i - y_{i-1}$, 水平方向投影距离为 $\Delta x_i = v_i \cdot \Delta t$, 故两测量点之间的板带纤维长度可以根据勾股定理近似计算 $\Delta l_i = \sqrt{(\Delta d_i)^2 + (\Delta x_i)^2}$ ($i=1, 2, \dots, n$), 整个板带纤维长度利用所有测量点之间的纤维长度积分为

$$L = \sum_{i=1}^n \Delta l_i = \sum_{i=1}^n \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + v_i (t_i - t_{i-1})^2}.$$

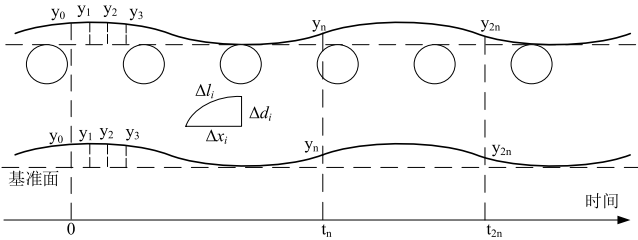


图2 板形数学描述原理图

Fig.2 Mathematical description schematic of plate shape

高度计算采用激光三角法进行,如图3所示。激光器将激光条纹投影到板带表面,反射至CMOS相机中成像,当某测量点高度发生变化时,其在图片中的位置必然发生变化,利用像素位移和高度变化的对应关系可以计算出高度差。

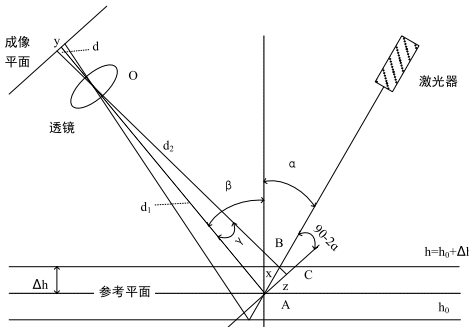


图3 激光三角法示意图

Fig.3 Schematic diagram of laser triangulation

3 图像处理(Image processing)

利用机器视觉进行板形检测的过程中,图像边缘处理过程至关重要。边缘检测的实质是采用某种算法提取图像中目标与背景之间的边界线,通常可以由一阶梯度最大值或者二阶导数过零点检测得到图像边缘^[3],其基本流程如图4所示。本项目采用Canny算法对图像进行处理。



图4 图像边缘检测流程

Fig.4 Edge detection process

3.1 Canny边缘检测原理

Canny算法是一种含有最优化思想的边缘检测算法^[4],是目前国际上使用比较普遍的方法,拥有较高的精度和信噪比。Canny算法的思路如下^[5]:

(1)滤波器设置。利用滤波器平滑图像,去除一部分噪声的影响。常见的滤波器有均值滤波、高斯滤波等等,考虑到本项目中噪声有大量的由水蒸气、光照等带来的高斯白噪声,故选择高斯滤波。

(2)一阶差分算子增强边缘。Canny算法选用的是一阶差分算子来增强边缘,常见的一阶差分算子有Sobel算子、Roberts算子、Prewitt算子等^[6]。Prewitt算子作为一阶差分算子,它是在Sobel算子的基础上发展而来,其表达式为:

$$G_x(i, j) = f(i-1, j+1) + f(i, j+1) + f(i+1, j+1) - f(i-1, j-1) - f(i, j-1) - f(i+1, j-1) \\ G_y(i, j) = f(i+1, j-1) + f(i+1, j) + f(i+1, j+1) - f(i-1, j-1) - f(i-1, j) - f(i-1, j+1) \quad (1)$$

式中 $G_x(i, j)$ 和 $G_y(i, j)$ 分别是点 (i, j) 在 X 方向和 Y 方向的梯度, $f(i, j)$ 为该点的灰度值,其梯度幅值为

$$G(i, j) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

利用算子增强边缘后得到的是梯度幅值图。

(3)极大值抑制。极大值抑制是通过计算该点灰度梯度幅值是否是沿着梯度方向相邻点中的最大值来去除一部分伪边缘,如果是最大值就保留梯度幅值,否则记为0。

(4)双阈值检测和连接。设定低阈值 T_1 和高阈值 T_2 ,将极大值抑制后得到的梯度幅值图分别与高低阈值比较,大于 T_2 的计入强边缘图,大于 T_1 的计入弱边缘图。先在强边缘图中搜索,当检测到一个非零点后,以这个点为起点沿着它的8邻域追踪边缘,当检测到断点时,就用该断点在弱边缘中对应点的8邻域内进行搜索,找到合适非零点并将其记录到强边缘图中,这样不断的跟踪连接,直到将能够连接的点全部连接完成。

3.2 局部自适应阈值的Canny算法

Canny算法需手动设置高低阈值,自适应能力差。针对该问题,基于本项目图片特点提出了一种自适应阈值的Canny算法。假设图片水平方向的长度为 y 个像素,竖直方向为 x 个像素,需要提取的边缘就是激光条纹的上下边缘,需要得到的边缘点的数量为 $2y$ 个。根据Canny算法的基本原理,将极大值抑制后的梯度幅值提取出来,并按从大到小进行排列, $\text{grad} = \{\text{grad}_1, \text{grad}_2, \dots, \text{grad}_{x*y}\}$, 令高阈值 $T_2 = \text{grad}_{2y}$, 低阈值 $T_1 = 0.4 * T_2$ 。

研究发现,实际检测中由于钢板表面凹凸不平,导致激光反射的程度不同,造成激光条纹的部分区域梯度幅值远低于其他部分,使得提取的激光条纹边缘出现了间断。当曝光时间较低时,间断更加明显。为解决这个问题,我们将图像分割成几个区域分别提取边缘,再将其拼接起来,将这种方法称为局部自适应阈值Canny算法,其步骤为:高斯滤波→Prewitt算子增强边缘→极大值抑制→梯度幅值图分割→局部阈值计算→局部双阈值检测和连接→图片拼接。

4 实验结果与分析(Experimental results and analysis)

如图5所示为实验用钢板,可以看到钢板表面拥有大量噪声。

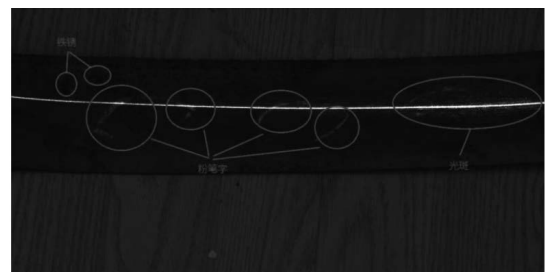


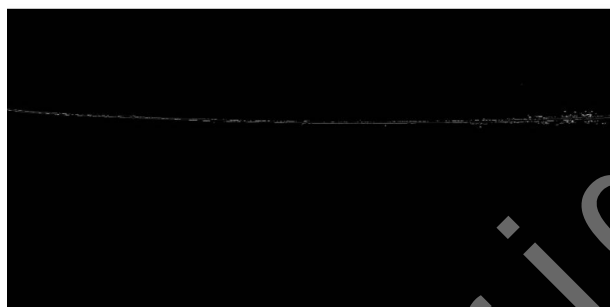
图5 实验用钢板

Fig.5 Experimental steel plate

实验测试选择噪声非常明显的曝光时间为12928s的图片,分别用阈值为 $T_1=600/T_2=450$, $T_1=180/T_2=90$ 和自适应阈值的Canny算法来提取边缘,结果见图6。由结果对比可知,阈值设置过高会使提取的激光条纹边缘出现大量的间断,设置过低会出现大量的噪声给后续的数据分析造成极大的影响。自适应阈值的Canny算法提取的边缘结构完整无间断点,且基本为单像素边缘,质量极好,可以有效去除噪声影响得到高质量的激光条纹边缘。



(a) 阈值 $T_1=600/T_2=450$



(b) 阈值 $T_1=180/T_2=90$

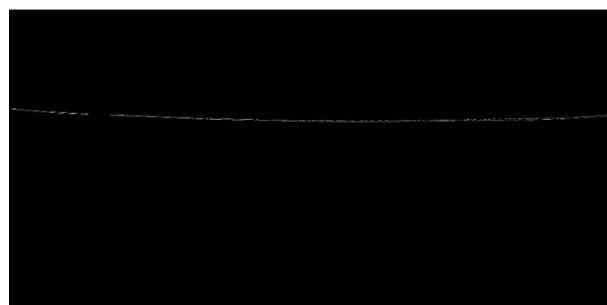


(c) 全局自适应阈值

图6 边缘提取结果对比

Fig.6 Comparison of edge extraction result

淬火板形拍摄频率要求达到200fps,因此必须要想办法解决拍摄速度带来的拖影问题,而减小曝光时间是一种常用的手法。选择曝光时间为4001s的图片用自适应阈值的Canny算法提取边缘。但如图7(a)所示,提取的激光条纹边缘有很长的一段间断。根据Canny算法的原理,其原因是由于钢板反射造成该段梯度幅值过小。为了解决该问题我们采用改进的局部自适应阈值Canny算法提取的边缘,结果见图7(b),整个激光条纹边缘完整无间断。



(a) 全局自适应阈值



(b) 局部自适应阈值

图7 改进Canny算法提取的边缘

Fig.7 The extracted edge of the improved Canny algorithm

5 结论(Conclusion)

局部自适应阈值Canny边缘检测算法在实际检测后效果良好,能够在低曝光时间下提取到连续的激光条纹边缘,能够在高曝光时间下有效去除光斑、油污、水汽噪声并得到连续、单像素的高质量激光条纹边缘,有利于后续的板形平直度的精确测量。

参考文献(References)

- [1] SU L H, YU L W, Ma X H. Research of the technology of flatness detection for steel strip based on linear laser[C]. Proceeding of the 2010 International conference on electrical and Control engineering. IEEE Computer Society, 2010: 5474-5477.
- [2] LIU J W, ZHANG D H, WANG J Sh. Deflection compensation model for flatness measuring roll[J]. Journal of Iron & Steel Research International, 2010, 17(12): 35-37.
- [3] GONZALEZ RC, WOODS RE. Digital image processing (3rd Edition)[M]. Prentice-Hall, Inc., 2007, 45(2): 445-465.
- [4] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1986(6): 679-698.
- [5] BAO P, ZHANG L, WU X. Canny edge detection enhancement by scale multiplication[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2005, 27(9): 1485-1490.
- [6] Health M, Sarkar S, Sanocki T. Comparison of edge detectors: a methodology and initial study[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1998, 69(1): 38-54.

作者简介:

许博文(1997-), 男, 本科生. 研究领域: 图像处理软件开发.
唐 朝(1994-), 男, 硕士生. 研究领域: 视觉识别.
张 田(1989-), 男, 博士, 博士后. 研究领域: 板形控制.
李家栋(1983-), 男, 博士, 讲师. 研究领域: 板形控制.