

典型接头的机器人视觉传感图像处理技术

段宏伟, 兰 虎, 郑红艳, 菅晓霞

(哈尔滨理工大学 荣成学院, 山东 荣成 264300)

摘 要: 针对国内现有的弧焊机器人视觉传感图像处理系统通用性、鲁棒性差而无法满足实际焊接过程焊缝跟踪需要的现状,以 Panasonic-TA1400 六自由度弧焊机器人为试验平台,构建了典型接头机器人视觉传感硬件系统,并基于 LabVIEW 语言开发了视觉传感通用图像处理系统. 运用二维小波变换技术对典型接头焊缝图像进行了降噪和边缘检测处理,既有效滤掉了背景噪声,又基本完整地保留了激光光带的边缘. 而在激光光带中心线抽取和焊缝特征点检测方面,采用了逐行(列)快速搜索和逆序快速查找数组最大值方法,简单有效,同时兼顾了精确度和速度要求. 试验表明,整个图像处理方法效果良好,能够满足后续跟踪系统实时性要求.

关键词: 小波变换; 焊接机器人; 视觉传感; 图像处理; 焊缝跟踪

中图分类号: TP242. 2; TG409 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2012)04-0052-05

Image Processing of Robotic Vision Sensing for Typical Joints

DUAN Hong-wei, LAN Hu, ZHENG Hong-yan, JIAN Xiao-xia

(Rongcheng College, Harbin University of Science and Technology, Rongcheng 264300, China)

Abstract: According to the domestic situation that the existing image processing systems of arc welding robot vision sensing, with poor generality and robustness, cannot meet the need of seam tracking in actual welding process, the hardware system of robot vision sensing for typical joints was established based on Panasonic-TA1400 arc welding robot with six-degree of freedom. The general image processing system for vision sensing was developed by using LabVIEW. The two-dimensional wavelet transform was adopted to images of the typical weld joints for noise reduction and edge detection, both effectively filtering out background noise, and almost completely retaining the edge of the laser light band. For the key technology in laser stripe extraction and characteristic point detection, simple and effective methods including the fast search row (column) one by one and the reverse quickly finding array maximum were proposed, which pay attention to the precision and speed requirements. The results show that the image processing technology can get good effect and meet the real-time demands of the tracking system.

Key words: wavelet transform; welding robot; vision sensing; image processing; seam tracking

0 引 言

机器人和传感技术所具有的自动化、柔性化和

信息化等特点使其成为 21 世纪工业制造领域里最具发展潜力的先进加工技术之一. 在自动化焊接过程中,保证焊接结构的质量和质量的连续性是焊接机器人系统所面临的主要问题^[1]. 然而,工件加工

收稿日期: 2011-12-07

基金项目: 黑龙江省教育厅 2010 年度科学技术研究项目(11551069)

作者简介: 段宏伟(1970—),男,博士,研究员;

兰 虎(1982—),男,博士研究生,讲师,E-mail: lanhuex@163.com.

和装配上的误差以及焊接过程中的热和残余应力而产生的变形均会使接头位置发生变化,而标准的弧焊机器人系统无法检测到这种位置变化,仍将沿原始示教路径施焊,势必造成焊接质量下降甚至失败^[4]。因此,当焊接接头位置改变时,需借助传感方法来确定焊缝路径,以保证机器人控制柜获得接头变化信息而相应调整焊枪位置。据统计,焊工在焊接时判断其过程是否正常和作必要的调整,所依据的信息 80% 来源于直接观察(即视觉),而视觉传感及计算机图像处理技术的引入赋予焊接机器人“看”的功能^[5-8]。

近年来,虽然通过焊接工作者的不断努力,基于视觉传感的焊缝跟踪系统的性能和水平都有很大的提高^[6-8],但尚存在一些问题,如现有的图像处理算法还没有统一规范,对不同的焊接方法和焊接参数的改变的适应性较差,并且由于受焊接过程中的飞溅、烟尘、电弧光等影响,给准确获取焊缝信息造成了较大困难,致使焊缝跟踪技术研究成果的实用化进程十分缓慢。截至目前,现场焊接生产中焊缝自动跟踪问题尚未得到满意的解决。鉴于小波变换在信号多次度分析、降噪、数据压缩和特征提取等方面享有得天独厚的优势^[9-12],以实验室现有的 Panasonic-TA1400 6 自由度弧焊机器人为试验平台,采用虚拟仪器编程语言 LabVIEW 对典型接头(对接、角接和搭接)视觉传感焊缝图像进行小波变换通用处理算法研究,为后续开展机器人跟踪控制提供试验数据,具有重要的理论与工程价值。

1 试验装置

图 1 是 Panasonic-TA1400 弧焊机器人视觉传

感监测系统组成示意图,主要由机器人焊接系统、激光视觉传感系统和图像采集处理系统三部分组成。激光器和 CCD 摄像机固定在机器人末端执行器上,CCD 摄像机与工控机上的图像采集卡相连。试验时,EL65L40IP 半导体激光器发出的条形光横跨在接缝上,在遮光罩遮住电弧和熔池自身辐射的情况下,由 WAT-231S 摄像机采集激光条纹图像,经 OK-C30A 图像采集卡传输到工控机里,再由工控机内预装的处理程序对图像进行降噪处理、边缘检测、激光光带中心线抽取和焊缝特征点提取等。

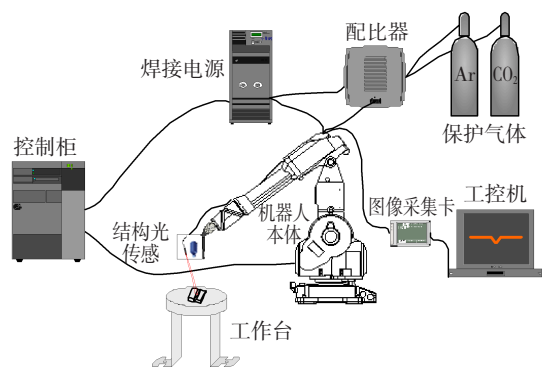


图 1 机器人视觉传感试验系统

2 图像获取

由于现场获取的接头图像尺寸对整个图像系统处理速度起着决定性影响,经大量尝试发现,采样率为 24 fps,比特深度为 8 (即灰度等级为 255),大小为 200 × 200 Pixel 的传感图像基本上即可获得所需的接头特征信息,进而满足焊缝跟踪的需要。图 2 展现了含有大量噪声的典型结构件接头视觉传感图像。分析可知:

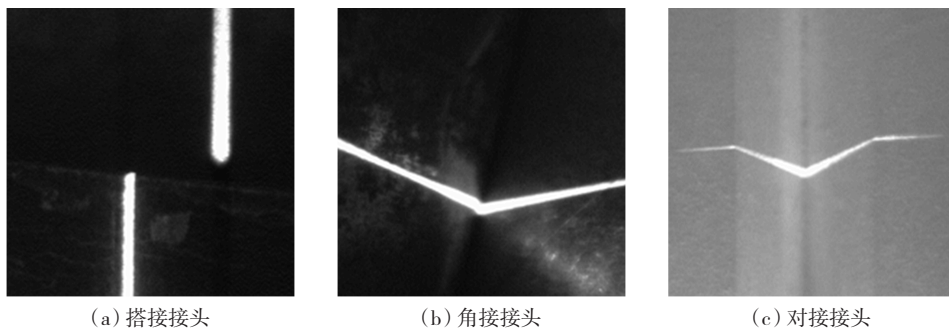


图 2 典型接头传感图像

搭接接头(图 2(a))的灰度值主要分布在 50 左右,而激光光带特征信息明显很亮,灰度值在 100 ~ 255 之间。

角接头(图 2(b))的灰度值也主要分布在 50 左右,激光光带信息很明亮,灰度值在 200 左右,但图像中含有金属的二次反射光,且二次反射光灰度值

与光带灰度值很接近.

对接接头(图2(c))中光带与背景灰度比较接近,灰度值在140左右,但存在明显的横道干扰,使得图像背景每一行的灰度值近似为一个常数,而每一行各常数互不相同,基本分布在40以下.

3 图像处理

3.1 图像降噪

由于受焊接环境、光学系统的衍射、CCD器件本身的噪声、电子电路干扰等影响,传感器拾取的接头图像不可避免地含有大量噪声,为了有效降低这些噪声对焊缝特征提取的干扰,对原始图像进行滤波降噪就显得非常必要.目前图像去噪的方法主要有空域法和频域法,而频域降噪相对于空域降噪可以保留图像的高频部分,即可以更好地保留图像细节.小波变换属于频域降噪,其降噪原理是利用噪声和信号在频域上分布的不同,对接头图像进行小波分解,并将系数分类来决定保留哪些信号、剔除哪些信号,然后进行反变换得到接头图像,以达到去除噪声的目的.在信号处理领域,一维连续小波变换是一种常用工具,其定义为

$$W_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{\mathbb{R}} f(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

式中: a 为尺度因子; b 为平移因子; $\bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 是 $\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 的复共轭; $\psi(t)$ 为基小波或母小波.

由于图像是二维信号,需把一维小波变换推广到二维.令 $f(i, j)$ 表示一个二维信号,则二维连续小波变换可表示为

$$W_f(a, b_1, b_2) = |a|^{-\frac{1}{2}} \iint_{\mathbb{R}^2} f(i, j) \bar{\psi}\left(\frac{i-b_1}{a}, \frac{j-b_2}{a}\right) di dj \quad (2)$$

与一维小波变换类似,图像的二维连续小波变换等同于对图像按行按列分别进行一维小波变换.采用 LabVIEW 语言实现二维小波降噪参数设置如下:小波函数为 bior5_5,分解尺度为4,阈值选项为软阈值,规则为 SURE,重新尺度方法为 Single,具体阈值由阈值规则和重新尺度方法决定.图像经小波变换处理之后的效果见图3.与图2相比,大量的背景噪声如板材表面纹理、金属二次反射光以及横道干扰等基本有效地被滤除,图像细节变得更加明显,信噪比大幅提高.

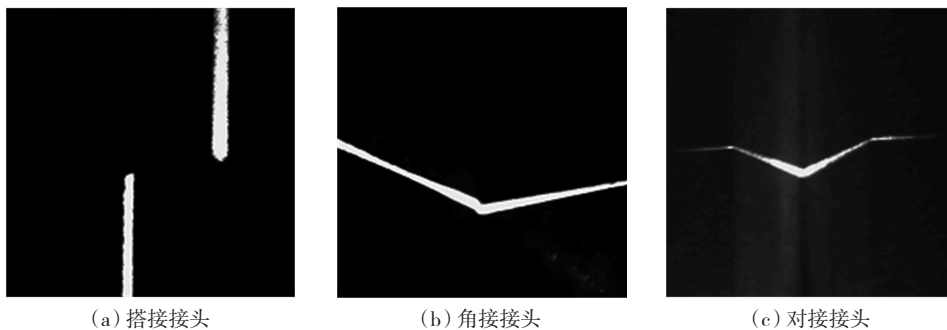


图3 小波降噪图像

3.2 边缘检测

激光条形光原始图像经过小波降噪处理后得到了条形光的边缘轮廓图,若此时直接进行焊缝特征点的提取将比较困难且误差很大,无法满足跟踪的高精度要求.一幅素描图可以勾勒出各种丰富的图像,可见图像中的边缘具有非常重要的信息.图像中的边缘往往意味着区域的显著变化,对于目标形状提取具有十分重要的意义,接头图像也不例外.

边缘检测是基于图像属性幅值不连续进行检测和提取的一种方法,也即检测图像变化类型的局部特性,如灰度值突变等.目前在边缘检测方面存在定位与检测的均衡问题.小的边缘模板(小尺度)对

噪声很敏感,但其定位精度高,而大的边缘模板(大尺度)有较强的去噪能力,但其定位精度低.为了检测出既有高定位精确度,又有高信噪比的边缘信息,有必要引入多尺度概念(即小波变换技术).对某一类小波,图像边缘对应于小波变换的局部最大值,可表示为

$$\max\{W_a(i, j)\} = \max\{\sqrt{|W_a^r(i, j)|^2 + |W_a^c(i, j)|^2}\} \quad (3)$$

式中, (i, j) 为图像行列索引; $W_a(i, j)$ 为 a 层分解尺度上的模; $W_a^r(i, j)$ 为沿行方向的细节系数; $W_a^c(i, j)$ 为沿列方向的细节系数.基于 LabVIEW 实现多尺度

小波边缘检测具体参数设置如下: 小波函数为 bior3_1 , 阈值率为 0.1, 分解尺度为 6. 效果如图 4 所示, 基本上仅激光光带的边缘得以保留, 且连续性良

好, 为下一步进行激光光带中心线的抽取打下了良好基础.

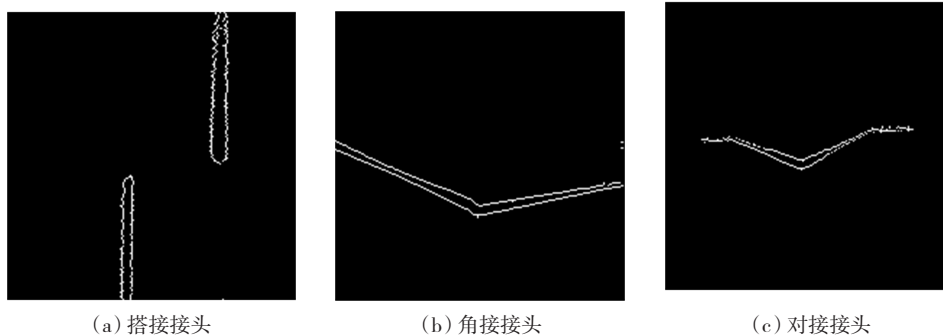


图4 小波边缘检测图像

3.3 中心线抽取

接头视觉传感图像经过边缘检测后, 就得到如图 4 所示的多幅仅含激光条纹信息的二值化图像. 但其并不能立即用于特征点检测, 原因在于其具有一定的宽度, 且存在中间断点. 因此, 需首先抽取出激光条纹的中心线, 常采用 Hough 变换实现. 但采用此算法需预先知道变换系数, 同时要结合最小二乘法 and 图像分割技术, 不仅算法实现难度大, 而且运算时间长. 特别是针对图 4 边缘抽取的结果, 存在多段直线, 这就需要分别设定不同的变换参数, 使得运算时间大大加长, 从而难以保证焊缝跟踪的实时

性要求.

综合考虑上述因素, 结合试验所得图像特点, 尝试采用逐行同时搜索左右两个边界点(搭接接头) 或逐列同时搜索上下两个边界点(角接接头和对接接头), 且搜到就停止的方式. 这样既缩短了搜寻时间, 又可避开坡口内部存在不规则突变部分带来的误差, 大大提高了算法的通用性. 然后求其平均值作为激光条纹中心点. 对于边缘断点处理是记住前一行(列) 中心点坐标, 进行匹配拟合, 确保所得结果的连续性. 图 5 为由单像素组成的连续激光条纹中心线抽取结果图. 效果显示该方法简单、有效.

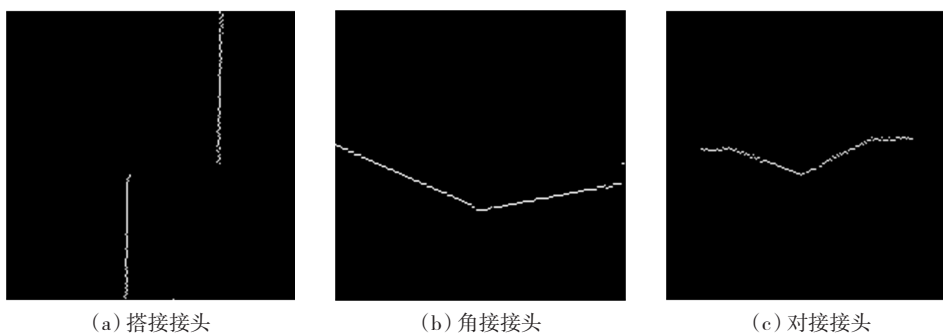


图5 光带中心抽取图像

3.4 特征点提取

实现焊缝自动跟踪的基本前提是准确提取接头特征点, 进而确定焊缝中心点, 而选取什么样的接头特征点和采用什么样的特征提取算法取决于实际的接头形式和应用需要. 业已证明, 当传感器与工件相对位置发生变化时, 激光条纹成像将随之发生变化. 可见确定激光条纹上某个特征点, 根据其坐标的变化, 即可判定焊枪与焊缝的相对位置变化. 经过仔细观察试验中单像素激光条纹中心线图像, 发现角接接头和对接接头的特征点(焊缝中心点) 是

中心线上纵坐标值最大的点, 而搭接接头的特征点(焊缝中心点) 是横坐标值最大的点. 为此, 结合上一步得到的中心点坐标值, 尝试采用逆序快速查找数组最大值方法. 在查找特征点过程中, 为了提高所获得特征点的可靠性, 选取所查找最大值数组元素左右各相邻 2 个元素和也为极大值判别标准, 这样就避免了孤立噪声点带来的误差, 大大提高了算法的准确性. 处理结果如图 6 所示, 图中作标记的点即为检测所得焊缝特征点.

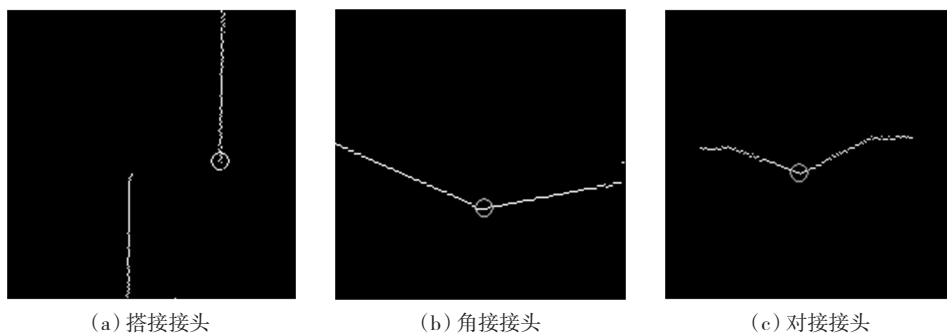


图 6 焊缝特征点检测图像

4 结 论

1) 搭建了典型接头机器人视觉传感试验系统,并基于 LabVIEW 平台开发了机器人视觉传感图像处理系统.

2) 采用了二维小波变换对典型接头焊缝图像进行平滑降噪和边缘检测处理,既有效滤除了背景噪声,又很好地保留了激光光带的边缘.

3) 针对试验中典型接头焊缝图像特点,兼顾精度和速度两方面要求,采用了逐行(列)快速搜索和逆序快速查找数组最大值方法,有效提取了激光条纹中心线及焊缝中心点.

4) 整个图像处理流程具有一定的鲁棒性,处理效果比较理想,按上述图像处理方法处理 200×200 Pixel 的图像所用时间不过 500 ms,满足后续焊缝跟踪实时处理的要求.

参 考 文 献:

- [1] 徐培全,唐新华,芦凤桂,等. 基于机器人焊接的视觉传感系统研究综述 [J]. 焊接, 2005(8): 11-14.
- [2] 朱江. 弧焊机器人焊缝跟踪 [J]. 电焊机, 2008, 38(6): 41-43.
- [3] 鞠益兰,程金松. 结构光式激光视觉传感器的焊缝跟踪系统 [J]. 电焊机, 2002, 32(05): 9-11.
- [4] JOHN O C, GARETH J B, GERARD M O, et al. Optical Monitoring of Laser Generated Plasma during Laser Welding. Welding Journal [J] //Proc. SPIE 3935, 2000: 132-138.
- [5] YU J Y, SUCK N. A Study on Vision Sensors for Seam Tracking of Height-varying Weldment [J]. Mechatronics, 1998, 8(1): 21-36.
- [6] 陈念,孙振国,陈强. 基于视觉图像传感的精密脉冲 TIG 焊焊缝跟踪 [J]. 焊接学报, 2001, 22(4): 17-24.
- [7] BAE K Y, LEE T H, AHN K C. An Optical Sensing System for Seam Tracking and Weld Pool Control in Gas Metal Arc Welding of Steel Pipe [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 120(1): 458-465.
- [8] 薛家祥,刘晓,张丽玲,等. 基于小波变换的 MAG 焊焊缝跟踪 [J]. 焊接学报, 2006, 27(6): 13-16.
- [9] 刘立君,兰虎,于忠伟,等. 焊接电弧声信号降噪技术 [J]. 焊接学报, 2009, 30(12): 13-16.
- [10] 武东生,刘秉琦. 小波变换在 CCD 图像边缘检测中的应用 [J]. 应用光学, 2004, 25(2): 48-50.
- [11] 刘哲,周昆. 基于小波变换的遥感图像边缘检测方法研究 [J]. 航空计算技术, 2002, 32(4): 9-11.
- [12] 刘立君,兰虎,温建力,等. MIG 焊熔透电弧声小波包频带能量特征提取 [J]. 焊接学报, 2010, 31(1): 45-49.

(编辑: 关 毅)