

# 激光视觉焊缝跟踪系统图像处理

赵相宾<sup>1</sup>, 李亮玉<sup>2</sup>, 夏长亮<sup>1</sup>, 符灵建<sup>2</sup>

(1. 天津大学 自动化学院, 天津 300072; 2. 天津工业大学 机电学院, 天津 300160)

**摘 要:** 对视觉焊缝跟踪实时图像处理的方法进行了研究, 首先采用图像增强来增加图像对比度, 采用中值滤波去除图像噪声, 并用二值化法将目标图像从背景图像中提取出来。在后处理的研究中激光视觉焊缝跟踪系统图像处理的关键技术——激光带中心线的抽取和特征点的检测提出了切实可行的方法。采用中轴变换法提取的中心线单一、连续; 用斜率分析法来检测特征点方便可靠。该处理方法能准确检测焊缝特征点, 处理速度快, 能够满足跟踪系统的实时性要求。

**关键词:** 视觉; 焊缝跟踪; 图像处理; 特征点检测

中图分类号: TG115.28 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2006)12-042-04



赵相宾

## 0 序 言

目前国内的弧焊机器人多为示教机器人, 编程复杂、效率低并且由于装配误差或者在焊接过程中发生热变形或者机械变形, 都容易导致焊缝位置偏离机器人预先编程确定的位置, 直接影响了焊接质量, 机器人不能发现这种接头位置的变化并加以调整。因此, 研究用来检测焊枪偏离焊缝中心的视觉跟踪系统是很有必要的。激光视觉跟踪系统是目前效率最高、适应性最强的一种焊缝跟踪系统, 但由于受电弧光、烟尘、飞溅等焊接环境的干扰, 其关键的图像处理显得尤为困难。一些发达国家很早就已经开始研究焊缝跟踪系统, 由早期的机械式焊缝传感器到现在的激光视觉系统等, 进行了多年的研究与探索, 取得了可喜的成绩。国内对焊接机器人焊缝跟踪的研究, 也进行了大量研究工作<sup>[1~3]</sup>。

## 1 激光视觉跟踪系统结构简介

### 1.1 传感器组成

激光视觉传感器主要由 CCD 和激光器组成。激光器作为结构光源, 以预定的角度将激光条纹投影到传感器下部的工作表面。CCD 直接观察在传感器下部的条纹。传感器以预先设定的距离安装在焊枪前部, 因此它可以观察焊缝。系统在进行跟踪时,

焊接速度和前视距离被用来计算延迟时间, 保证焊枪沿着焊缝行进。

### 1.2 系统工作原理

开始焊接之前, 调整焊枪使其对准焊缝中心, 打开电源, 系统开始工作, 程序开始运行, 传感器中的 CCD 便实时监视图像, 由软件启动一个定时器, 根据焊接速度的要求, 调节定时器的时间间隔, 每隔一定的时间抓拍一幅图像, 通过程序对图像进行实时处理, 得到图像的焊缝中心, 以当前焊缝中心相对于初始焊缝中心的偏差量为检测量, 输出调整量给机器人控制器, 控制机械手指引焊枪运行, 实现自动跟踪。

## 2 图像前处理算法及试验结果

焊接机器人视觉系统中图像处理基本可分为两方面, 一是将所获得的原始图像进行增强、滤波、二值化等处理, 目的是使得原始图像去除噪音、变得更加清晰, 边缘特征更加明显, 即前处理; 二是将前处理后的图像进行边缘检测、特征提取等操作, 为了准确无误地获得焊缝的中心信息, 以便机器人进行相应的坐标调整, 满足焊接质量的要求。

### 2.1 加窗处理

由现场采集图像的大小为  $704 \times 576$  像素, 灰度等级为 256 级, 如图 1a 所示(经一定比例的缩小)。若对整幅图像都进行前处理, 运算量较大, 很明显会降低处理的速度, 不符合实时跟踪的要求, 因此对原始图像进行加窗处理就很有必要。理论上, 窗口越小, 处理越快; 但是如果窗口太小, 会导致在焊枪发

生偏离的情况下, 焊缝的某些特征信息有可能位于窗口之外, 这就无法保证所得结果的准确性。经试验分析, 在原始图像中取出  $150 \times 120$  像素的图像进行处理, 可以包括所要提取的特征信息, 处理速度可大大提高。

2 2 图像增强

焊缝图像由于受到各种干扰的影响, 其原始图的明暗对比度比较低, 加上图像在生成、传输和变换过程的影响, 输出图像的质量会有很大的下降。因此对原始图进行反差增强, 目的是使目标和背景的反差增大, 同时也使得二值化阈值的选取更加简单。采取对图像中每一个像素的灰度进行标度变换以扩大图像的灰度范围。设输入图像中某点  $(x, y)$  的灰度为  $f(x, y)$ , 映射成输出图像的灰度为  $g(x, y)$ , 则其算法表达式为

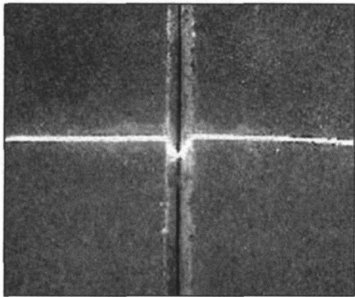
$$g(x, y) = k \times f(x, y) - m, \tag{1}$$

式中:  $k$  和  $m$  为常数, 由下式决定

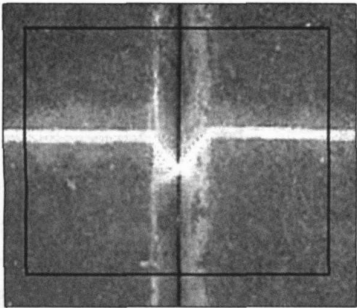
$$K(n) = \frac{[g(x, y) - g(x, y)]}{[f(x, y) - f(x, y)]}, \tag{2}$$

$$m = k \times f(x, y), \tag{3}$$

式中:  $f(x, y)_{\max}$  和  $f(x, y)_{\min}$  分别为增强前图像的最大和最小灰度值;  $g(x, y)_{\max}$  和  $g(x, y)_{\min}$  分别为期望在增强后的最大和最小灰度值。选取  $g(x, y)_{\max}$  为 255,  $g(x, y)_{\min}$  为 0, 以使得增强后的效果最佳。反差增强处理结果如图 1b 所示。



(a) 原始图像



(b) 图像增强

图 1 图像的增强

Fig. 1 Intensification of image

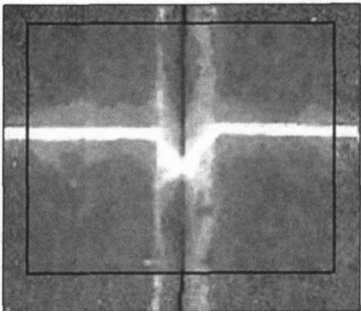
2. 3 平滑滤波

由于受到电弧光、烟尘、飞溅等干扰影响很大, 原始焊缝图像中孤立噪声点很多, 严重影响图像的后续处理, 为此必须采取必要的平滑滤波处理。但一般的低通滤波器同时使得图像的细节变得模糊, 为此采用中值滤波, 目的是保护图像边缘的同时去除噪声。

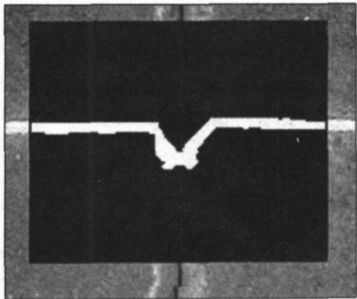
中值滤波的基本原理是把图像中的每个像素的值用该点的一个邻域中各点值的中值代替。在程序编制中, 对原灰度值采用领域  $3 \times 3$  像素的窗口, 先将二维数组转换为一维数组, 然后用冒泡法对一维数组进行从小到大的排序, 取一维数组的中值代替原灰度值。中值滤波处理结果如图 2a 所示。

2. 4 二值化

二值化也就是把目标图像从背景图像中提取出来的技术。它的关键是阈值的选取, 必须根据图像的统计分布性质, 即从概率的角度来选择合适的阈值。经试验发现, CCD 所采集的原始图像因激光的高亮度使得图像中激光带的灰度值接近于 255, 为了更好的滤除噪声干扰, 可适当的加大所选取的阈值, 同时也不会将目标图像变为背景, 很好的保留了激光带。此方法处理速度快, 可很好的将激光带和背景分离开来, 经二值化后的图像结果如图 2b 所示。



(a) 中值滤波



(b) 二值化

图 2 中值滤波和二值化

Fig. 2 Medium filtering and binarintion

3 图像后处理算法及试验结果

在进行焊缝自动跟踪过程中, 一个主要的难点在于如何从前处理后的图像中抽取激光带中心线, 以及如何从中心线中检测特征点。

3.1 光带中心线提取

为方便焊缝特征点的检测, 就必须首先提取激光带中心线。中心线的提取必须要保证单一、连续的特点, 常用的方法是进行 Hough 变换。Hough 变换是一种线描述方法, 它可以将笛卡尔坐标空间的线变换为极坐标空间中的点, 是建立直线的有效方法, 但是由于此算法要结合最小二乘法法和图像分割技术, 不仅算法实现难度大, 而且运算时间长。

结合试验图像的特点, 采取了中轴变换直接抽取中心线<sup>[4]</sup>的方法。它是一种用来确定物体骨架的细化技术, 获得区域骨架需要计算所有边界点到所有区域内部点的距离, 因而计算量是很大的。实际中采用逐次消去边界点的迭代细化算法。在这个过程中有 3 个限制条件: (1)不消去线段端点; (2)不中断原来连通的点; (3)不过多侵蚀区域。利用中轴变换法可很好的提取一条单一、连续的激光带, 提取中心线后结果如图 3a 所示。

最后, 将每一循环所获焊缝中心点连起来, 所得焊缝中心线如图 3b 所示。

3.2 特征点检测

有了单像素的连续中心线后, 接下来的任务就是找到中心线上的特征点。采用斜率分析的方法来进行特征点的提取<sup>[3]</sup>。

在斜率分析中, 设给定图像上第  $n$  行的激光带中心线位置像素坐标为  $f(n)$ , 则该点的斜率为

$$K(n) = f(n) - f(n - 1), \tag{4}$$

式中:  $f(n - 1)$  表示前一行的像素坐标。为了取得更加平滑的效果, 取中间相隔  $k$  行, 这样斜率公式变为

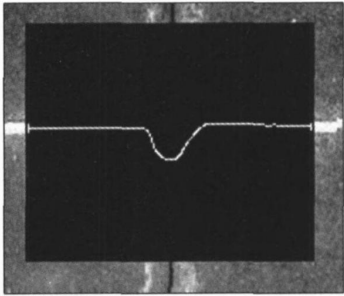
$$K(n) = \frac{f(n) - f(n - 1)}{k}, \tag{5}$$

为了提高这种提取特征点方法的可靠性, 取指定行  $n$  的上下各两行的平均斜率作为该点的斜率, 即

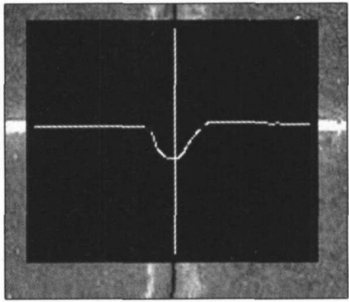
$$K(n) = \left| \frac{f(n+1) - f(n-1)}{2} + \frac{f(n+2) - f(n-2)}{4} + \frac{f(n+3) - f(n-3)}{6} + \frac{f(n+4) - f(n-4)}{8} \right| \cdot 4, \tag{6}$$

这样就可以分别找到激光带的左右两个拐点。采用分别从左右两段开始搜索, 搜到了就记住坐标地址并停止搜索的方法。这样就可以避开坡口内部

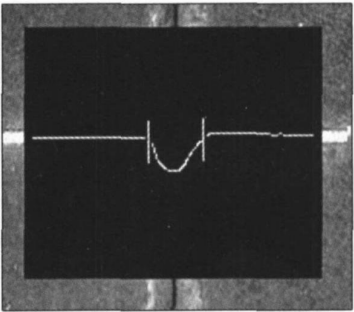
(即左右两个拐点之间)可能存在的不太规则的特征信号带来的误差, 不仅简化了算法, 而且程序的通用性也大大提高。特征点标记为竖直直线, 如图 3c 所示。



(a) 中心线提取



(b) 焊缝中心线



(c) 特征点检测

图 3 焊缝中心线后处理  
Fig. 3 Post dealing of seam stripe

4 结 论

(1) 对原始图像进行加窗处理, 可大大提高程序运算速度。采用反差增强改善了图像的对比度, 使得激光带和背景分离更加明显。

(2) 针对图像的噪声特点, 采用中值滤波可在 [下转第 48 页]

表 3 基于熵的变区间离散化算法

Table 3 Variable interval number algorithm based entropy

信息增益与 对应的离散化区间数				正确率 $R_r(\%)$	不可预测率 $R_n(\%)$	平均误差 $E_{mean}/mm$	标准误差 $E_{sd}/mm$
(0, 0.3)	[ 0.3, 0.4)	[ 0.4, 0.5]	[ 0.5, +∞)				
1	2	3	4	42.95	16.18	0.32	0.51
1	2	3	5	40.06	17.23	0.38	0.60
2	3	3	4	39.00	21.93	0.33	0.51
2	3	3	5	35.79	24.15	0.37	0.57

作了 4 组试验。

从试验结果可以看出,采用变区间的离散化算法后,其效果比之前的最优算法有了进一步的提高,而且,在一定离散化区间内具有很好的适用性。

4 结 论

- (1) 对于焊接领域智能建模或控制中的离散化方法,应以其对后续建模或控制方法的帮助作为主要评价标准。
- (2) 常见的离散化方法对比试验表明,基于熵的离散化方法表现更好。
- (3) 根据基于熵的离散化方法所提出的改进的离散化算法,效果更好,且更加适合焊接领域。

参考文献:

[ 1] 吴 林, 陈善本. 智能化焊接技术[ M] . 北京: 国防工业出版社, 2000.

[ 2] 李 文, 孙 辉, 陈善本. 一种建立模糊模型的粗糙集方法[ J] . 控制理论与应用 2001, 18(1): 70—76.

[ 3] 王 兵. 基于粗糙集理论的知识建模方法与焊接动态过程知识模型的研究[ D] . 上海: 上海交通大学, 2003.

[ 4] Liu H. Discretization an enabling technique[ J] . Data Mining and Knowledge Discovery, 2002 6(4): 393—423.

[ 5] 王建军. 铝合金脉冲 TIG 焊熔池动态特征的视觉信息获取与自适应控制[ D] . 上海: 上海交通大学, 2003.

[ 6] 王国胤. Rough 集理论与知识获取[ M] . 西安: 西安交通大学出版社, 2001.

作者简介: 黎文航, 男, 1978 年出生, 博士研究生. 研究方向为焊接智能建模与控制、专家系统和数据库系统, 发表论文 8 篇。

Email: lw\_h\_jkl@sjtu.edu.cn

[ 上接第 44 页]

保护图像边缘的同时去除噪声。依据试验中图像的直方图特点进行二值化阈值的选取,即有效又快速。

(3) 采用中轴变换法提取激光带中心线单一、连续,无需进行断点匹配。用斜率分析的方法检测出焊缝特征点准确、实用性强。能够满足系统实时性的要求。

参考文献:

[ 1] 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(5): 5—9.

[ 2] 章毓晋. 图象处理和分析[ M] . 北京: 清华大学出版社, 2003.

[ 3] 宋国军, 朱六妹, 王 伟. 视觉焊缝跟踪实时图像处理研究[ J] . 焊接技术, 2003, 32(1): 4—5.

作者简介: 赵相宾, 男, 1965 年 8 月出生, 博士研究生, 教授. 主要从事电气自动化及电力电子方面研究, 发表论文 10 余篇。

Email: zhaoxiangbin@tjied.com.cn

structed with stationary valves and the other used proportional relief valves. The effect of system oil temperature on axial pressure was analyzed in emphases. The results show that the static and dynamic characteristics of axial pressure with the proportional valve system are better than those with the switch valve system; the axial pressure of the proportional valve control system is independent on oil temperature. In long period welding production, the control precision of axial pressure with the proportional valve control system is higher, and the repeatability is better than that of switch valve control system.

**Key words:** friction welding; proportional valve; computer control

#### Image processing of seam tracking system with laser vision

ZHAO Xiang-bin<sup>1</sup>, LI Liang-yu<sup>2</sup>, XIA Chang-liang<sup>1</sup>, FU Ling-jian<sup>2</sup>  
(1. Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China). p42—44, 48

**Abstract:** The method of real time image processing in the laser vision sensing seam tracking system was studied. In the course of pretreatment, the contrast of image was intensified by the image intensify treatment; the noise in the image was removed by medium filtering treatment; and the aim image was obtained from the background image by the binarization treatment. Then in the image post-treatment, for the key technology in laser stripe extraction and character point detection, some feasible method was proposed. The single and consecutive laser stripe was obtained by the method of inside stalk transformation. The convenient and reliable characteristic points were detected by analyzing slope. The method proved that the character point can be detected exactly and rapidly, and the demand of real time seam tracking system can be met by this method.

**Key words:** vision; seam tracking; image processing; character point detection

#### An new discretization algorithm for intelligent modeling in welding

LI Wen-hang, CHEN Shan-ben, LIN Tao, DU Quan-ying  
(Institute of Welding Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China). p45—48

**Abstract:** Discretization method is usually important in intelligent modeling or controlling for welding process. The evaluation criterion for discretization methods in welding field were discussed. Based on the selected evaluation criterion, common discretization methods were compared, where a welding data set was obtained in pulsed GTAW experiment as modeling data and rough set modeling method was used to obtain a model that can predict backside width of molten pool. It showed that discretization method based entropy performs better. Based on the entropy algorithm, a modified discretization algorithm was put forward, and the last result showed that this method was better and suited for the welding field.

**Key words:** discretization; welding process; rough set; intelligent modeling

#### Electric arc shape of twin-wire indirect arc welding

CAO Mei-qing, ZOU Zeng-da, DU Bao-shuai, QU Shi-yao (Shandong University, Jinan 250061, China). p49—52

**Abstract:** With high speed camcorder system and digital oscillograph, the electric arc shape of twin-wire indirect arc welding was investigated. Results show that the arc was burning between the two wires in twin-wire indirect arc welding, and the arc was still a type of gas discharge in nature. Welding current, arc voltage and the distance between the two wires and the workpiece have great influence on the arc shape. With the welding current changing, the arc shape presents different degree of concentration and scatter. The arc becomes brighter and bigger with the increase of arc voltage. When the distance between the two wires and the workpiece reduced, the arc concentrated and became shorter and brighter. Arc voltage changes periodically, and its corresponding electric arc shape changes also periodically, and it has well corresponding relationship between arc voltage and electric arc shape.

**Key words:** twin-wire indirect arc welding; arc shape; welding current; arc voltage

#### Microstructure of dissimilar metal joint with magnesium alloy AZ31B and steel 304 for laser-tungsten inert gas lap welding

ZHAO Xu, SONG Gang, LIU Li-ming (State Key Laboratory of Materials Modification, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, China). p53—56

**Abstract:** The lap welding of magnesium alloy AZ31B and steel 304 dissimilar joint by laser-tungsten inert gas (TIG) welding was investigated, and the microstructure was analyzed by SEM, EP-MA etc. The results showed that Mg and Fe can be joined effectively due to the new phase forming in transition zone of the joint. It also found the new phases were different because the extent to oxidation was different. One was "bamboo" MgO phase, another was consecutive  $Mg_xFe_yO_z$  phase. During the latter phase forming, the phenomenon of Mg diffusion can be found.

**Key words:** Mg/Fe dissimilar materials; laser hybrid welding; microstructure

#### Quality monitoring of resistance spot welding based on image processing of welding spot surface

ZHANG Peng-xian, CHEN Jian-hong, DU Wen-jiang (Key Laboratory of Non-ferrous Metal Alloys, The Ministry of Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China). p57—60, 64

**Abstract:** A new method was explored to monitor joint quality based on information processing in digital image of welding spot surface in resistance spot welding. At first, through analyzing the image character, 4 characteristic zones related to welding processing were mined from the image of welding spot surface. And then, their areas were measured to be taken as characteristic parameters for evaluating spot welded joint quality. Secondly, through the correlation analysis between 4 characteristic zones areas and tensile-shear strength of spot welded joint, 3 characteristic parameters were selected as input vectors from them, and tensile-shear strength of the joint was target vectors. On the basis, Radical Basic Function neural network model was set up to estimate the weld quality. At last, the results of simulation and test show that it is feasible that spot-welded joint quality can be monitored based on image information of welding