

# 激光视觉搭接焊缝的图像识别\*

江南春<sup>1,2</sup>, 刘苏宜<sup>1</sup>, 张华<sup>1</sup>

(1. 南昌大学 江西省机器人与焊接自动化重点实验室, 江西 南昌 330031;

2. 南昌大学 机电工程学院, 江西 南昌 330031)

**摘要:** 研究了激光视觉搭接焊缝的图像识别方法。针对原始焊接坡口激光图像中的噪声, 比较了均值滤波和中值滤波去噪方法, 提出了一种改进的滤波方法, 采用自适应阈值调整的最大方差法计算滤波图像的二值化阈值, 从而实现图像的分割。针对搭接坡口激光图像提出了三种坡口中心位置的识别和提取方法, 并通过图像处理实验比较了三种识别方法的坐标误差、识别正确率。试验证明, 最大方差法的图像处理过程和快速 Hough 变换识别法有效, 能满足焊缝实时跟踪的要求。

**关键词:** 激光视觉; 焊缝跟踪; 图像分割; 焊缝识别

中图分类号: TG409

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)04-0041-04

## Laser vision welding welded joint image recognition

Jiang Nanchun<sup>1,2</sup>, Liu Suyi<sup>1</sup>, Zhang Hua<sup>1</sup>

(1. Key Lab of Robot & Welding Automation of Jiangxi, Nanchang University, Nanchang 330031, China ;

2. Mechano-electronics Engineering College, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

**Abstract:** We have studied laser lap welding of visual image recognition method. Firstly, threshold selection is the critical process of image threshold segmentation method. Compared the average filter and median method in the noise of seam laser image, we propose to improve a filtering method using threshold automatically select the filtering method to calculate the variance image threshold, and the image segmentation is achieved. What is more, we improved four Groove Center location of recognition and extraction method in welding groove images, and we compare three methods of identifying coordinate error, identifiability by the image processing experiments. From the experiment we come to the conclusion that the largest variance of the image processing and fast Hough transform identification is effective and can meet the requirements of real-time tracking seam.

**Key words:** laser vision; seam tracking; image segmentation; seam recognition

焊接过程自动化是焊接的发展方向, 焊缝识别技术则是实现焊接自动化的关键技术之一。由于视觉传感方法具有信息量大、信号传感过程不影响焊接等优点, 目前, 激光视觉传感被广泛应用于焊缝识别。与其他普通光源相比, 激光具有波长范围窄、能量相对集中以及受环境影响小等优点, 利用它来进行焊缝跟踪识别所得图像效果更好, 从激光图像中不仅能检测出焊缝的中心位置, 还能够获得焊缝的截面形状和尺寸, 适用于各种不同形状的焊缝和焊接方法<sup>[1]</sup>。焊接接头坡口的形式有不开坡口、V形坡口、U形坡口、X形坡口、搭接坡口等。本文针对搭接焊缝的图像进行识别, 取得了较好效果。

## 1 图像预处理

### 1.1 原始搭接焊接图像分析

尽管激光图像的质量相比于其他光源拍摄图像有所改善, 但依然会受到焊接飞溅、烟尘以及弧光的影响。如何花费尽可能少的时间消除这些噪声, 获得高质量的图像是焊缝跟踪识别的关键。

图1为激光视觉焊缝跟踪示意图, 试验用的焊丝为天津三英公司的SQJ501气保护药芯焊丝。图2为焊接过程中现场采集的搭接接头激光传感图像, 从图中可以看出采集的焊接坡口图像信噪比低, 包含很多噪声, 多为线状和块状。根据焊接过程分析, 这些噪声主要由弧光、强热、飞溅、烟尘等产生, 噪声的图像灰度高于背景灰度, 与图像中激光线的灰度接近或者更高。因此如果

《微型机与应用》2011年第30卷第6期

\* 基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (2007AA04Z24)

# 图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

对这些原始采集图像直接进行焊接坡口中心位置的识别和提取,会严重受到图像噪声的干扰而难以正确识别和提取。为更精确地识别、提取出焊接图像中坡口中心的位置,需要对原始采集图像进行滤波去噪、边缘检测、二值化等预处理。

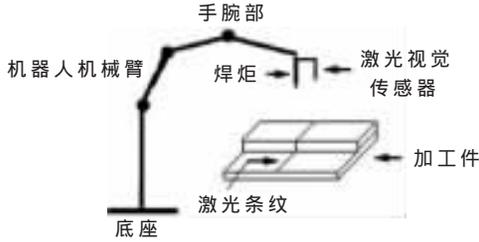


图1 激光视觉焊缝跟踪示意图

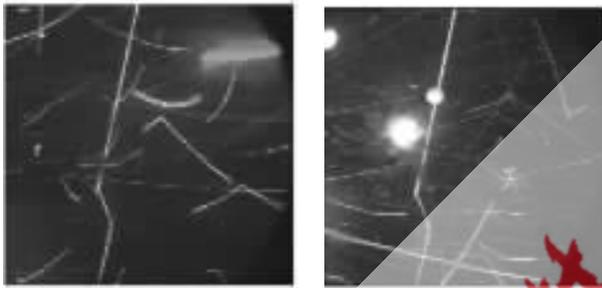


图2 搭接接头激光传感原始图像

## 1.2 图像预处理

图像预处理的方法很多,主要有滤波去噪、图像增强、图像恢复(复原)、几何畸变校正、直方图变换等。图像预处理的目的是改善图像质量,利于计算机后续处理和提取出目标对象特征。图像处理针对性很强,对不同的应用有不同的要求,采取的处理方法也各不相同<sup>[2,3]</sup>,需要针对现场采集到的搭接焊接图像进行预处理分析。

通过均值滤波法、中值滤波、改进滤波方法分析得出,焊接坡口图像中背景灰度值最低,一般在50以下,噪声和目标图像-激光线的灰度值基本上在100以上,但激光线的宽度一般为2~3个像素,而噪声多为点线状,宽度多在4个像素以上。基于这些特征,本文提出一种更有效快速的滤波去噪方法。

在图像中取一个1×5的水平窗口,并选定某一阈值T,当窗口中第一像素小于T而第2、3、4、5个像素大于T,则判定为噪声,并用第1个像素灰度值替代窗口中第2、3、4、5个像素灰度值,按此规则扫描整幅图像。图3为原图中一个1×5水平窗口,窗口中第1个像素值为68,与第2个像素102有较大的灰度差值,而第2~5个像素之间灰度差值很小,这是典型的噪声。可取某一阈值T作判断依据,并用68取代第2~5个像素灰度值。

|    |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|
| 68 | 102 | 113 | 108 | 101 |
|----|-----|-----|-----|-----|

图3 噪声示例

由于每幅图像的噪声特点各有差异,因此阈值T的选取也不尽相同,而T值选取得合适与否会直接影响图像处理的效果。

为此,通过统计图像中灰度值在50~100间各级灰度对应的像素数,按以下公式取其中的概率平均灰度值:

$$T = \frac{\sum_{i=50}^{100} i n_i}{\sum_{i=50}^{100} n_i} \quad (1)$$

其中,i为灰度级,n<sub>i</sub>为灰度级的像素数。采用通过此方法得到的阈值T,能取得较好的处理效果。

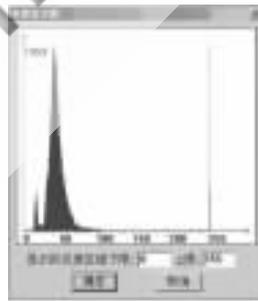
## 1.3 搭接焊接图像的二值化

进行图像分析首先要把分析对象即感兴趣的物体从背景中分割出来,即图像分割。图像分割最常用的方法就是图像二值化。图像二值化就是设定某一阈值T,用T将图像的数据分成两大部分:大于T的像素群的灰度值设置为0或255,小于T的像素群的灰度值设置为255或0,使灰度图像变成黑白二值图像,其数学表达式为:

$$f(x,y) = \begin{cases} 0, & f(x,y) < T \\ 255, & f(x,y) \geq T \end{cases} \quad (2)$$

正确选取灰度阈值T是图像二值化处理的关键问题。阈值选取的方法有多种<sup>[3]</sup>,如P参数法、双峰法、微分直方图法等,使用时针对图像的不同特性选取最佳的方法。

在焊接过程中,由于电弧状况不断变化,焊缝跟踪时实时拍摄的坡口图像背景灰度值并不恒定,在一幅图像中效果较好的灰度阈值在其他图像中效果可能较差。基于这种情况,本文采用一种自适应阈值调整的方法——最大方差法<sup>[4]</sup>。这种阈值选取法不管图像的直方图有无明显的双峰,都能得到较满意的结果,是阈值自动选择的最优方法。搭接直方图及其二值化图像如图4所示。



(a) 搭接直方图



(b) 搭接(阈值79)二值化图像

图4 搭接直方图及二值化图像

## 2 图像识别

### 2.1 三种图像识别方法

#### 2.1.1 结构元素匹配法

通过分析大量经图像预处理后的搭接接头中心位置的特点,本文提取了搭接接头中心的三种结构元素模型如下:

$$\begin{bmatrix} \times & 255 & 0 \\ \times & 255^* & \times \\ 0 & 0 & 255 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \times & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \times & 255^* & \times \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \times & 255 & 0 \\ \times & 255^* & \times \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

## 图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

其中带 \* 号的像素点为待识别的搭接接头中心点, × 表示灰度值为 0 或 255。

为减少图像噪声的干扰, 更准确地识别和提取搭接接头中心的图像位置, 本文对预处理后的二值化图像(图 4(b))作进一步细化, 具体细化方法是先后用结构元素

$[255^* \ 255]$ 、 $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 255^* & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$  对图像进行扫描匹配, 满足此两种结构之一的像素就将灰度值设为 0 (带 \* 号的像素为当前匹配的像素点), 这样得到细化图像, 如图 5 所示。

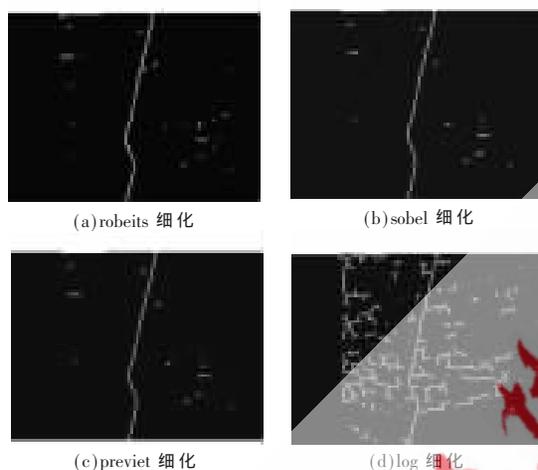


图 5 细化图像

## 2.1.2 改进模板匹配法

图像的模板匹配算法思想是先给定一幅图像, 然后到另一幅图像中去查找这幅图像, 如果找到了就匹配成功<sup>[5-6]</sup>。图像模板匹配的算法有多种, 常用的是全图模板匹配。

## (1) 全图模板匹配

全图模板匹配的具体计算方法如下: 设一幅图像  $f(x, y)$  的大小为  $M \times N$ , 模板图像  $\bar{\omega}(x, y)$  的大小为  $J \times K (J < M, K < N)$ , 如图 6 所示。模板图像  $\bar{\omega}(x, y)$  在原图上平移, 在原图上被模板图像所覆盖的图称为子图  $S^{m, n}$ ,  $m, n$  是子图左上角像素点在原图中的坐标, 模板图像与子图像之间的

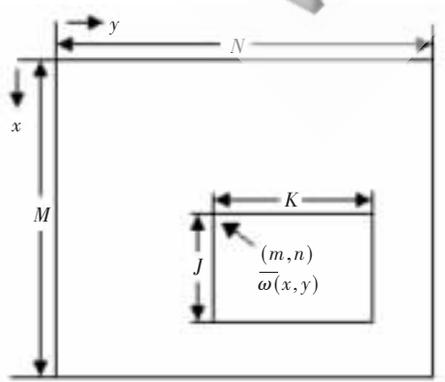


图 6 模板匹配示意图

相似程度用以下相关函数  $R(m, n)$  计算, 当  $m, n$  改变时, 可搜索到一个  $R(m, n)$  最大值, 即为模板匹配的位置。

$$R(m, n) = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K f(j+m, k+n) \bar{\omega}(j, k)}{\left[ \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K f^2(j+m, k+n) \right]^{\frac{1}{2}} \left[ \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \bar{\omega}^2(j, k) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

## (2) 特征点模板匹配

基于全图模板匹配计算量大、费时、实时性差的不足, 本文提出采用图像特征点匹配的方法, 即不作全图匹配而只是对原始图像预处理后的二值化图像中的白点(灰度值为 255)计算其相关值  $R$ , 同时二值化的模板图像也只提取其中的白点参与计算。需要注意的是, 这时模板图像的匹配基准点不在左上角像素点上, 而在图像上面第一行中扫描到的第一个灰度值为 255 的白点处。

模板匹配方法对搭接接头的识别和提取适用, 并且方法稳定性高, 精度误差和实时性满足应用要求。

## 2.1.3 改进 Hough 变换识别法

Hough 变换<sup>[7-8]</sup>是一种检测和定位直线和解析曲线的方法, 适于用来检测已知形状的几何曲线。Hough 变换的主要优点是其检出曲线的能力较少受曲线中的断点等干扰的影响, 同时对原图上的所有点进行处理, 取最终效果, 因此抗干扰能力较强, 是一种有效检出形状的方法。

## (1) 标准直线 Hough 变换

Hough 变换思想为: 在原始图像坐标系下的一个点对应了参数坐标系中的一条直线, 同样参数坐标系的一条直线对应了原始坐标系下的一个点, 然后, 原始坐标系下呈现直线的所有点, 它们的斜率和截距是相同的, 所以它们在参数坐标系下对应于同一个点。这样在将原始坐标系下的各个点投影到参数坐标系下之后, 看参数坐标系下有没有聚集点, 这样的聚集点就对应了原始坐标系下的直线。

## (2) 快速 Hough 变换识别法

原始焊接图像经预处理后得到的二值化图像, 其上的白色像素点数(灰度值为 255)仅为整个图像的像素点数的  $\frac{1}{80} \sim \frac{1}{20}$ , 因此, 若只对白色像素点进行 Hough

变换映射, 则计算量能减少为  $\frac{1}{80} \sim \frac{1}{20}$ 。另外, 根据图像中激光线可能出现的位置范围, 缩小  $\varphi$  的范围到  $0^\circ \sim 180^\circ$  之间, 同时适当加大参数划分区间的增量值。

## 2.2 坡口中心识别方法的比较

本文对不同图像识别方法进行了直线型搭接焊缝的机器人跟踪试验。

在焊接条件基本相同的情况下, 分别采用三种对坡口中心的识别法, 即结构元素匹配法、特征点模板匹配法、快速 Hough 变换法, 其试验条件如表 1 所示。

表 1 试验条件

|                         | 试验(a)                  | 试验(b)                  | 试验(c)                  |
|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 焊接电压/V                  | 29                     | 29                     | 29                     |
| 焊接电流/A                  | 260~280                | 250~270                | 220~240                |
| 焊接速度/(mm/s)             | 5                      | 5                      | 7                      |
| 焊丝直径/mm                 | 1.6                    | 1.6                    | 1.6                    |
| 送丝速度/(mm/s)             | 200                    | 200                    | 225                    |
| 干伸长/mm                  | 22                     | 23                     | 25                     |
| 机器人姿态角<br>( $x, y, z$ ) | (131.1, -37.6, -125.8) | (131.1, -37.6, -125.8) | (131.1, -37.6, -125.8) |

对 20 帧采样图像进行实验,将此提取的接头中心点坐标与实际图像中接头中心点坐标进行对照,并对以上提出的三种识别和提取搭接接头中心点位置的方法进行比较,从比较结果看,特征点模板匹配法比全模板匹配法的识别误差和正确率均有所下降,但由于其计算量大大减少,因此实时性得到了很大提高;同样,快速 Hough 变换法相比标准直线 Hough 变换法其识别误差和正确率有所下降,但实时性得到很大提高。结构元素匹配法的识别正确率稍低,但边缘提取及角点检测法识别误差和正确率都较好,且计算量不大,实时性也高。另外,从稳定性来看,结构元素匹配法由于受所提取的结构元素模型正确与否的影响,其稳定性较其他方法稍差;从鲁棒性来看,特征点模板匹配法和边缘提取及角点检测法的抗干扰能力强。

### 3 实验结果与分析

使用不同的识别方法对直线搭接焊缝进行跟踪,结果如图 7 所示。

从图 7 跟踪试验结果来看,在直线搭接接头焊缝的机器人跟踪中,本文研究的三种焊接坡口中心图像识别方法均能较好地实时识别和提取到坡口中心的图像位置。其中用特征点模板匹配法、快速 Hough 变换法识别搭接接头中心得到的跟踪焊缝比较平整,而结构元素匹配法稍有波动,稳定性较其他两种稍低。

利用一种改进的滤波方法,运用自适应阈值调整的的最大方差法计算滤波图像的二值化阈值,是一种行之有效的图像分割方法,最终为完善焊缝跟踪系统奠定了基础。

比较了三种方法的识别坐标误差、识别正确率,其中快速 Hough 变换法得到的跟踪焊缝比较平整,为控制系统提供可靠的焊缝位置信息,这样不仅有利于得到满意的焊缝跟踪效果,还能改善焊缝成形质量。

#### 参考文献

- [1] 刘习文,王国荣,石永华.单条纹激光引导焊缝跟踪图像处理[J].焊接学报,2006,27(6):25-28.
- [2] 冈萨雷斯.数字图像处理(第2版)[M].北京:电子工业出版社,2007.

[3] 陈天华.数字图像处理(第1版)[M].北京:清华大学出版社,2007.

[4] 陈梵,张秋余.基于背景图像差分的手势分割方法研究[D].兰州:兰州理工大学,2009.

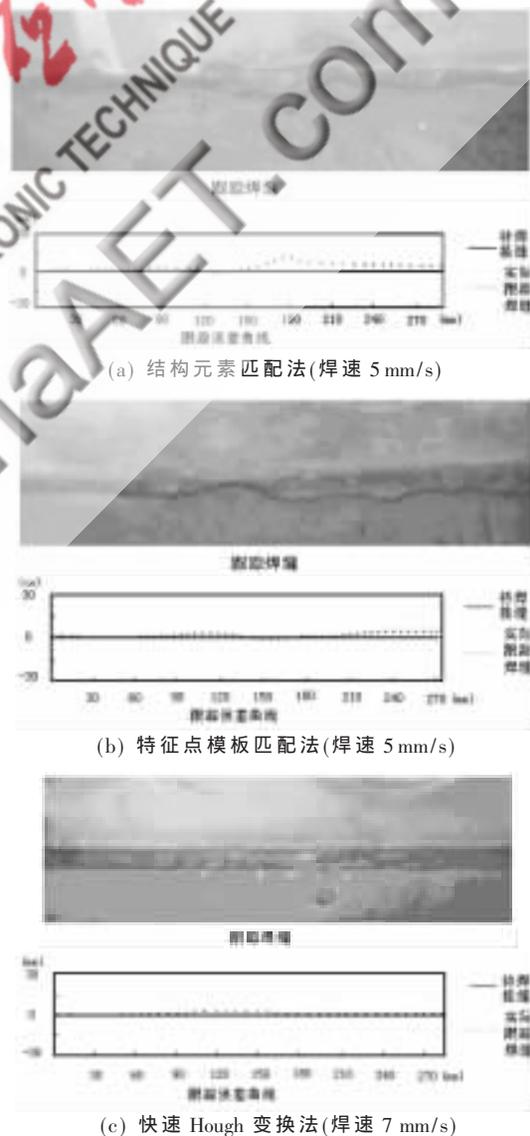


图 7 不同图像识别法的直线搭接焊缝跟踪试验结果

[5] 高军.基于模板匹配的图像配准算法[J].西安交通大学学报,2007,41(3):307-311.

(收稿日期:2010-12-24)

[6] 隆武林,陈颖琪.基于图像分割与特征匹配的目标检测及跟踪[J].信息技术,2009(11):19-23.

[7] 姚立健,丁为民,赵三琴,等.广义 Hough 变换在遮挡图像识别中的应用[J].农业工程学报,2008,24(12):97-101.

[8] 姚立健,丁为民,张培培,等.基于改进型广义 Hough 变换的茄子果实位姿识别方法[J].农业工程学报,2009,25(12):128-132.

作者简介:

江南春,男,1973年生,在读硕士研究生,主要研究方向:智能机器人与视觉。

刘苏宜,女,1974年生,副教授,硕士生导师,主要研究方向:服务机器人与传感。

张华,男,1964年生,教授,博士生导师,主要研究方向:移动机器人技术、机器人智能化、智能自动化技术、智能结构快速制造技术。

