

输出控制器、交流伺服电机驱动器、焊枪调节电动滑移台等部分组成。

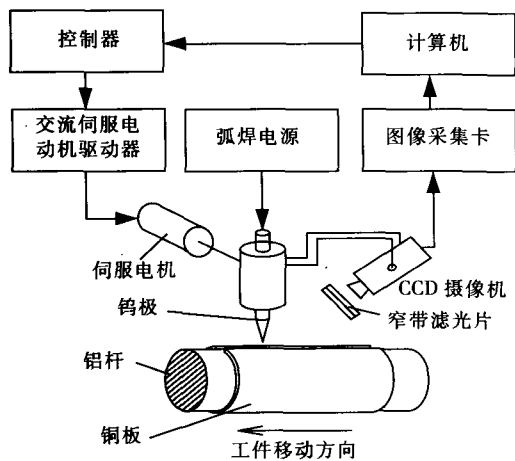


图1 焊缝自动跟踪系统组成框图

该系统将视觉传感器安放于焊接前方离钨极 20 mm 处,对弧光进行中性减光和窄带滤光后,摄取铜皮成形对口缝图像,经采集卡以 10 Hz 的采样频率将图像采集到焊缝图像处理计算机,并保存为灰度为 8 位的亮度图像,焊缝图像处理软件对该图像进行处理,计算焊缝中心位置与焊枪中心位置的偏差,将该偏差数据通过 I/O 口实时传输给由单片机组成的输出控制器,输出控制器采用 PID 控制交流伺服电机,控制焊枪移动,纠正焊缝中心与焊枪中心位置的偏差,以上过程自动完成,不需要人为干预。由摄像机采集的原焊缝图像如图 2 所示。

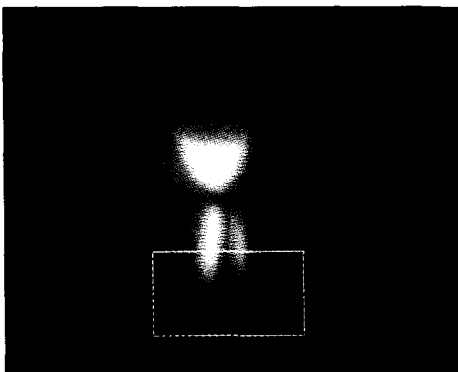


图2 原焊缝图像

2 焊缝图像处理与特征识别

焊缝图像的处理和特征识别是该系统的核心,焊缝图像的处理和特征识别主要经过以下步骤。

2.1 图像预处理

在焊接过程中,由于焊接环境的影响,在焊缝图像中往往产生各种干扰和噪声,有必要对采集来的焊缝图像进行滤波和减噪。同时,为了使需要识别的对口边缘更加清晰,还需要将去除噪声干扰的图像进行图像增强。

文中采用均值滤波的方法进行焊缝原始图像的滤波降噪,该方法是用邻域像素灰度的平均值代替该像素的灰度值,它能够大大削弱噪声的影响,最简单的均值滤波是局部均值运算,即每一个像素值用其局部邻域内所有值的均值替换。设当前的待处理像素为 $f(m,n)$, 给出一个处理模板,经过均值滤波得到的图象为 $g(m,n)$ 。

$$g(m,n) = \frac{1}{9} \sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z} f(m+i,n+j) \quad (1)$$

$$Z = \{-1,0,1\}$$

$$H = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

式中, m,n 为滤波像素点坐标; i,j 为滤波像素点的邻域像素点坐标; Z 为局部邻域范围; H 为空间掩模。

经均值滤波后的图像,虽然去掉了噪声,但图像边缘变的模糊,不易进行边缘识别,因此,采用拉普拉斯滤波器对减噪后的图像进行边缘增强。使用拉普拉斯算子增强图像的基本公式是:

$$g(x,y) = f(x,y) + c[\nabla^2 f(x,y)] \quad (2)$$

$$\nabla^2 f = [f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1)] - 4f(x,y)$$

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

式中, $g(x,y)$ 为增强后的图像; $f(x,y)$ 为输入图像; W 为空间掩模;进行变换时需要将图像和 W 进行卷积操作; c 为掩模系数。 W 中心为正时, c 为 1,否则 c 为 -1。

经过以上预处理后的图像如图 3 所示,可以看到,其噪声大为减少,图像边缘锯齿状条纹更加柔和。

2.2 焊缝边缘检测

对焊缝图像进行采集和处理的目的是提取对口内侧的边缘位置,然后,计算得到焊缝的中心线位置,将该位置与焊枪中心位置比较找到偏差。为了找到焊缝内侧的边缘,需要对焊缝边缘进行检测。

采用 Canny 边缘检测算子对焊缝边缘进行检测。Canny 边缘检测算子是 John Canny 在 1986 年提出的最佳边缘检测算子,其优点是边缘映射清晰,噪点少,边缘

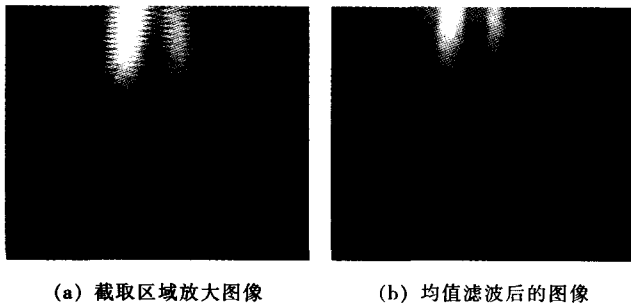


图3 预处理后图像的对比

连续性好。该方法的要点是:

(1) 图像使用带有指定标准偏差 σ 的高斯滤波器来平滑图像,进一步减少图像噪声。

(2) 在每一点处计算局部梯度 $g(x,y) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2}$ 和边缘方向 $\alpha(x,y) = \arctan(G_y/G_x)$ 。

(3) 第2条中确定的边缘点会导致梯度幅度图像中出现脊。算法追踪所有脊的顶部,并将所有不在脊的顶部的像素设为零,最终给出一条细线,该方法称为非最大值抑制处理。脊像素使用两个阈值 T_1 和 T_2 做阈值处理,其中 $T_1 < T_2$ 。值大于 T_2 的脊像素成为边缘强像素, T_1 和 T_2 之间的脊像素称为弱边缘像素。

(4) 最后,算法通过将连接的弱像素集成到强像素,执行边缘连接。

使用上述方法对预处理后的焊缝图像进行了边缘检测,如图4所示。可以看到,Canny边缘检测得到的焊缝边缘图像非常清晰,几乎没有噪点,并且边缘的连续性非常好。

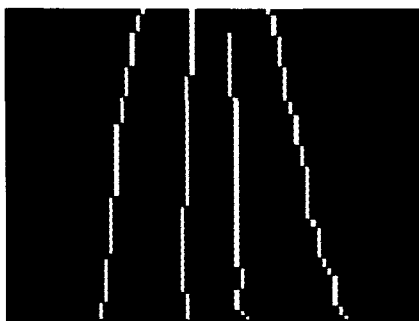


图4 Canny边缘检测结果

2.3 使用 Hough 变换进行线检测

使用边缘检测得到的图像,实际上是一些并不连续的点,焊缝边缘往往不是一条真正的直线。采用 Hough 变换的方法,将检测得到的焊缝边缘图像提取成两条直线,直线的位置是唯一确定的,在计算焊缝误差时,可以做到非常精确和很高的分辨率。

Hough 变换采用了空间变换的方法,对图像直线特征进行提取。假设在 $x-y$ 坐标系中有 N 个点 (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, N$ 。通过 $x-y$ 平面上任一点 (x, y) 的直线群可由式(3)规定的 $\theta-\rho$ 参数坐标系中的一条曲线(下称 Hough 曲线)来表示。

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3)$$

式中, ρ, θ 为 Hough 变换的坐标轴, x, y 为像素点位置坐标。

根据 Hough 变换的性质,共线的任意两点 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 的 Hough 曲线将一定在 $\theta-\rho$ 参数坐标系中相交一次。交点的 θ 坐标为

$$\theta = -\tan^{-1} \frac{x_i - x_j}{y_i - y_j} \quad (4)$$

根据公式(4)可以求出第 i 条 Hough 曲线和其余 $N-1$ 条 Hough 曲线交点的 θ 值,它们在 θ 轴上分布的峰值将表示通过点 (x_i, y_i) 并以峰值处的角度为方向且拥有最多共线点的一条直线。通过二维累积数组的计算方法,可以找到该峰值点,最终通过坐标变换到 $x-y$ 坐标中所对应的直线。

为了加快变换速度,采用了文献[8]中的一维数组方法,改进了 Hough 变换算法,编制的程序能够满足实时性的要求。图5为 Hough 变换得到的四条焊缝边缘,在实际的变换过程中,只对焊缝内侧的两条曲线进行提取,并且对图像进行了分割处理,减少了图像的面积,加快变换速度。

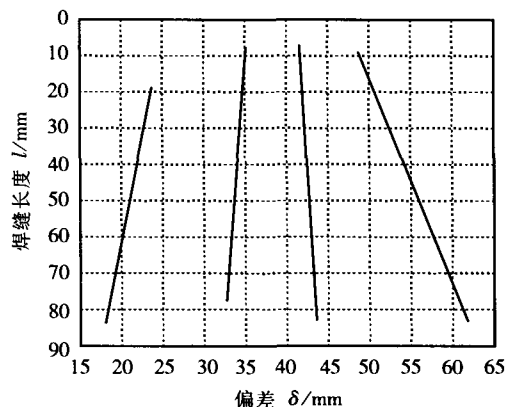


图5 Hough变换检测的焊缝边缘直线

2.4 焊缝偏差的计算

通过 Hough 变换检测得到的焊缝边缘直线,很容易使用计算机对其进行处理求取焊缝偏差。焊缝偏差求取方法如图6所示。图中 C 点为标定得到的焊枪中心位置, A, B 两点为与 C 点同一纵坐标且在两条内侧焊缝直

线上的点。O 点为与 C 点同一纵坐标的焊缝中心线上的点。其横坐标为 $X_o = (X_A + X_B) / 2$, 则焊缝偏差 δ 为 $\delta = X_c - X_o$ 。将该偏差值通过计算机接口传递给控制器, 控制器根据焊缝偏差 δ , 控制执行机构运动, 移动焊枪位置, 调整偏差。

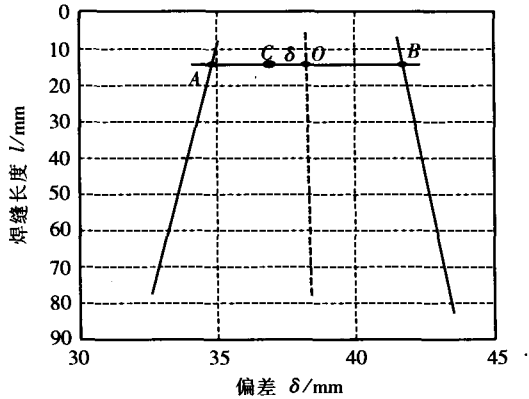


图 6 焊缝偏差的求取

3 结 论

采用均值滤波的方法进行焊缝原始图像的滤波降噪, 并采用 Canny 边缘检测得到了焊缝边缘的清晰图像。使用 Hough 变换进行线检测, 将检测得到的焊缝边缘图像提取成两条直线, 直线的位置是唯一确定的, 在计算焊缝误差时, 可以做到非常精确和很高的分辨率。

参 考 文 献

- [1] 孙德勤, 吴春京, 谢建新, 等. 铜包铝复合线材制造技术的发展现状与前景[J]. 电线电缆, 2003(3): 3-6.
- [2] Wang j j, Lin t, Chen s b. Obtaining weld pool vision information during aluminium alloy TIG welding[J]. Int J Adv Manuf Technol, 2005, 26: 219-227.
- [3] Baea K-Y, Leea T-H, Ahnb 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: 458-465.
- [4] 杜全营, 王 伟, 王建军, 等. 铝合金钨极氩弧焊熔池图像处理[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(7): 1055-1057.
- [5] 谢志孟, 高向东. 基于 Canny 算子的焊缝图像边缘提取技术[J]. 焊接学报, 2006, 27(1): 29-32.
- [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): 17-20.
- [7] 张华军, 张义顺, 李德元, 等. 面阵 CCD 摄像机对 TIG 焊焊缝特征的识别[J]. 沈阳工业大学学报, 2004, 26(4): 453-456.
- [8] 张鸿宾. 改进的 Hough 变换在多传感器数据融合中的应用[J]. 高技术通讯, 1995(8): 9-13.

作者简介: 李云峰, 1968 年出生, 博士研究生, 副教授。主要研究方向为焊接智能控制与机电一体化, 主要研究成果为视觉传感埋弧焊焊缝自动跟踪系统的研究及专利, 已发表论文 10 篇。

· 书 讯 ·

1 最新手工电弧焊技术培训	26.40 元	22 焊接工装夹具及变位机械·性能设计选用	16.80 元
2 现代表面技术	33.60 元	23 焊接结构现代无损检测技术	15.50 元
3 电气工程师便携手册	50.40 元	24 钢熔焊接头金属学	26.40 元
4 晶闸管整流弧焊机的设计与调试	22.00 元	25 焊工考试标准化试题及解答	34.80 元
5 焊接材料产品样本	36.00 元	26 焊工取证上岗培训教材	40.80 元
6 低合金结构钢的焊接	7.00 元	27 空气等离子弧切割机的原理和设计	24.00 元
7 焊接手册[美]第四卷 金属及其焊接性	21.50 元	28 焊接设计简明手册	38.40 元
8 焊工培训指南——锅炉压力容器的焊接	21.00 元	29 先进材料的焊接	30.00 元
9 逆变焊接与切割电源	35.00 元	30 高级电焊工技术	22.00 元
10 简明钎焊工手册	24.00 元	31 弧焊过程质量实时传感与控制	12.00 元
11 国际焊工培训	40.00 元	32 焊工手册——埋弧焊、气体保护焊、电渣焊、等离子弧焊	69.60 元
12 上岗之路——电焊工入门	20.00 元	33 计算机辅助焊接技术	43.20 元
13 袖珍焊工手册	31.00 元	34 电气工程师便携手册	50.40 元
14 焊工技师手册	72.00 元	35 焊接手册(3)——焊接结构	117.60 元
15 简明焊工手册	46.80 元		
16 表面工程	24.00 元		
17 CO ₂ 焊接设备原理与调试	33.60 元		
18 电焊机维修简明问答	19.00 元		
19 电阻焊技术	18.00 元		
20 焊接工艺 500 问	28.80 元		
21 焊接技术问答	33.60 元		

以上定价含邮费, 欲购者请通过邮局将款汇至:

邮 编: 150080
地 址: 哈尔滨市和兴路 111 号 焊接杂志社
联系人: 韩雪艳
电 话: 0451-86325919