

# 图像处理技术在 CO<sub>2</sub> 焊自动跟踪中的应用

谷春艳<sup>1</sup>, 张立斌<sup>2</sup>, 胡宝坚<sup>1</sup>, 刘超英<sup>1</sup>, 黄 伟<sup>1</sup>

(1. 肇庆学院 电子工程系, 广东 肇庆 526061;

2. 茂名学院, 广东 茂名 525000)

摘 要: 利用 CCD(电荷耦合器件)摄像及计算机熔池图像直接视觉传感方法, 设计了一套基于面阵 CCD 计算机图像处理方法的 CO<sub>2</sub> 焊自动跟踪系统, 图像经均值滤波和增值处理, 再采用形态学的方法提取熔池边缘, 从而确定熔池中心, 即焊枪中心, 以确定焊枪中心与焊缝的偏差, 整个图像的处理时间为 25 ms。

关键词: 视觉传感方法; 图像处理; 焊缝跟踪

中图分类号: TG434.5 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2004)04-70-03



谷春艳

## 0 序 言

焊缝成形质量控制一直是焊接自动化研究的重点, 而焊缝跟踪是焊缝质量控制的前提, 焊缝跟踪的关键是焊缝偏差的传感问题。人们提出了许多传感方法, 这些技术在实际应用中都存在着局限性<sup>[1-6]</sup>。熔池图像直接视觉传感更接近于人眼观察过程, 是一种有前途的传感方法。因此, 作者在试验的基础上, 设计了一套 CO<sub>2</sub> 焊熔池图像处理自动跟踪系统。该系统不仅具有一定的前导量(拍摄点超前焊枪中心 30 mm), 而且还具有外界干扰小、图像处理简单、控制精度高等优点, 可在不同工作环境下实现高精度实时控制。

## 1 系统结构及工作原理

CO<sub>2</sub> 焊熔池图像处理自动跟踪系统如图 1 所示, 整个系统以计算机为核心, 由两大部分组成, 一是焊接规范及焊缝位置控制部分, 主要由焊接电源、送丝系统及焊缝位置调节部分组成; 二是熔池图像传感部分, 主要由熔池正面成像光路系统、光信号转换成视频信号的摄像系统(包括光学镜头和 CCD(电荷耦合器件)摄像机)和视频信号记录系统(包括图像卡)组成。CCD 摄像机把焊接熔池的光学图像转换为视频信号, 由图像卡转换为视频数字信号存储在计算机中。由计算机对熔池图像进行分析处

理后, 得到 CO<sub>2</sub> 焊焊缝位置偏差, 利用该偏差信号驱动调节执行机构调整焊枪位置, 直到消除偏差为止, 从而实现了 CO<sub>2</sub> 焊自动跟踪控制。

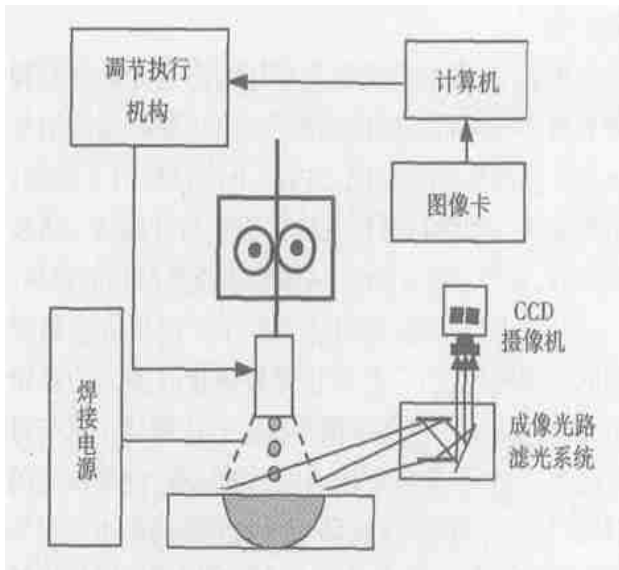


图 1 焊接熔池图像实时采集系统原理框图

Fig. 1 Principle block diagram of welding molten pool image real-time capturing

## 2 图像处理过程

### 2.1 熔池图像采集及其处理

焊接时, 从熔池正面经过滤光处理后由成像光路系统及 CCD 摄像系统得到焊接熔池的光信号图像, 该光学信号再由图像卡等转换成视频数字信号存储在计算机中, 如图 2 所示为采集到的焊缝熔池图像。

由于干扰信号的作用, 对所得图像进行滤波是

收稿日期: 2004-07-12

基金项目: 广东省科技计划项目(第 18 批第 12 项); 肇庆市科技创新计划项目(203261)

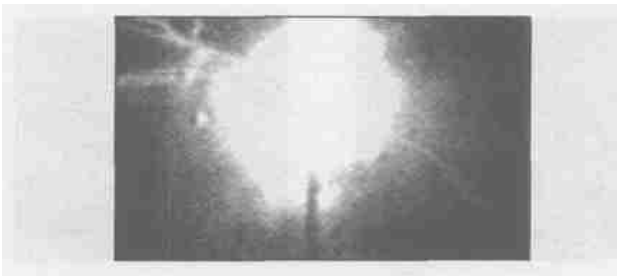


图 2 熔池图像  
Fig. 2 Image of pool

必要的。常用的滤波方法有线性滤波和非线性滤波。其中线性滤波中的高斯滤波与非线性滤波中的均值滤波较为常用<sup>[7]</sup>。作者采用均值滤波方法, 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  $f(m, n)$ , 给出一个处理模板则有

$$g(m, n) = \frac{1}{9} \sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z} f(m+i, n+j).$$
$$Z = \{-1, 0, 1\}.$$
$$H = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

经过滤波处理后, 虽然除去了大量干扰信号, 但是却模糊了图像, 因此有必要对图像进行增强处理。在这里使用平滑差分法, 公式为

$$Y(n) = X(n+2) + X(n+1) - X(n-1) - X(n-2).$$

经过均值滤波增强处理后的图像如图 3 所示。

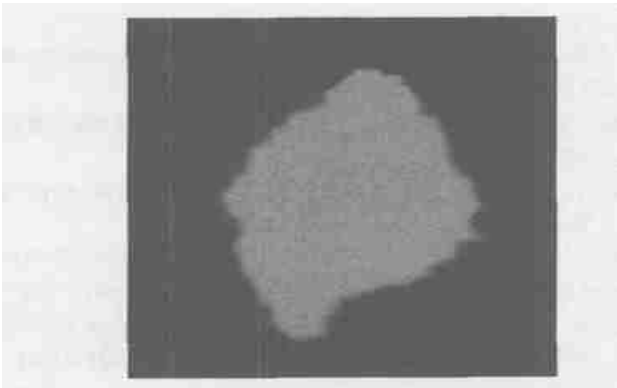


图 3 均值滤波增强处理后的熔池图像  
Fig. 3 Image of molten pool after average filtering and enhancing

2.2 熔池边缘检测

熔池的边缘 (Edge) 决定了熔池的几何形状尺

寸, 是熔池图像分割、纹理特征提取和形状特征提取等图像分析的重要基础, 只要正确检测到熔池的边缘, 就能够确定出熔池的中心点, 亦即焊枪的位置 (也是焊接热源的中心)。图像分析处理的第一步是边缘的检测 (Edge detection)。焊缝熔池图像的边缘点就是其灰度变化最大的边缘主要存在于目标与目标、目标与背景、区域与区域 (包括不同色彩) 之间, 经过上述图像滤波增强处理后, 采用形态学的方法提取熔池边缘。它的基本运算是腐蚀和膨胀, 腐蚀表示用某种结构元素对图像进行探测, 找出在图像内部可以放下该结构元素的部分。如果集合  $A$  被集合  $B$  腐蚀, 公式为

$$A \otimes B = \{x; B+x \in A\},$$

式中:  $B+x = \{b+x; b \in B\}$ ;  $A$  为输入图像;  $B$  为结构元素。如果将  $B$  看成模板, 则  $A$  被  $B$  腐蚀是在平移模板的过程中, 由所有可以填入  $A$  内部的模板的原点组成。而膨胀是腐蚀的逆运算, 根据集合理论, 膨胀相当于对补集的腐蚀。如果集合  $A$  被集合  $B$  膨胀, 则公式为

$$A \oplus B = [A^C \otimes (-B)]^C,$$

式中:  $A^C$  为  $A$  的补集;  $A$  为输入图像;  $B$  为结构元素。膨胀是对图像外部滤波, 而腐蚀是对图像内部滤波。经过腐蚀及膨胀后可以对图像进行边缘提取, 其边缘提取流程图如图 4 所示。

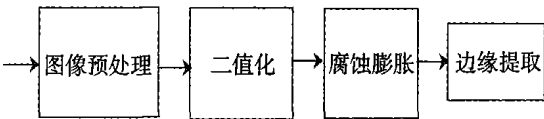


图 4 边缘提取流程图  
Fig. 4 Flow diagram of edge capturing

首先进行图像预处理, 即前述的滤波过程以消除噪声的影响。而二值化则采用迭代式阈值算法, 即先选择图像平均灰度作为初始阈值  $W$ , 利用阈值  $W$  把图像分为两部分  $A_1$  和  $A_2$ ; 计算  $A_1$  和  $A_2$  的灰度的平均值  $t_1$  和  $t_2$ ; 然后计算新的阈值  $T$ , 即  $T = \frac{1}{2}(t_1+t_2)$ 。再判断  $T$  是否变化, 如果  $T$  变化, 则重新利用阈值把图像分成两部分, 否则就结束。二值化以后进行上述的腐蚀与膨胀, 然后才能提取边缘。公式为

$$A \setminus (A \otimes B),$$

式中:  $A$  为输入图像;  $B$  为结构元素。用输入图像与腐蚀后的图像取差集, 即可以得到内边界, 经过边缘检测得到熔池图像边缘如图 5 所示。

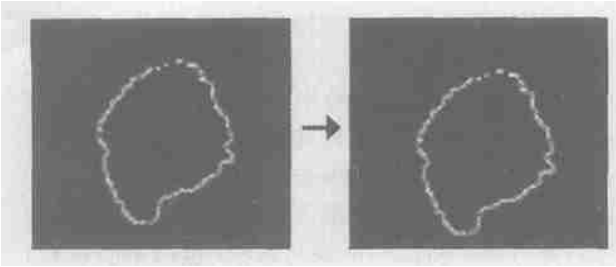


图 5 Roberts 算子熔池边缘检测图像  
Fig. 5 Edge detection image of molten pool by  
Roberts arithmetic operators

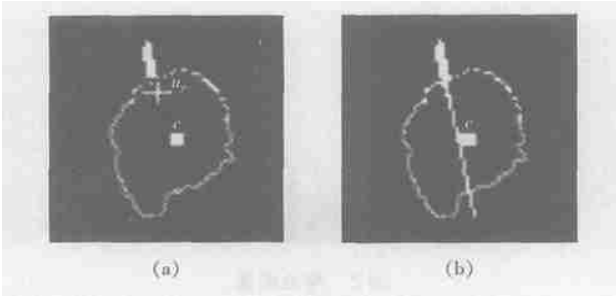


图 6 焊缝偏差检测过程  
Fig. 6 Detecting process of seam deviation

2.3 熔池中心点的提取及焊缝位置的确定

提取熔池图像的中心点时首先采用边缘跟踪, 然后采用形心公式计算熔池中心。边缘跟踪算法为

Step 1: 扫描图像, 找到一个区域的起始点并记  $T(K)=[X(K), Y(K)], K=0$ ;

Step 2: 令  $P=T(K)$ ,  $P$  为当前被跟踪的点, 记  $P$  的左 4 邻域为  $D$ ;

Step 3: 从  $D$  开始按逆时针方向搜索  $P$  点的 8 个邻点,  $K=K+1$ ;

Step 4: 当找到第一个属于  $T$  的点  $N$  时;

Step 5: 令  $P=NiD=Nij$ ;

Step 6: goto step 3, 直到  $T(K)=T(0)$ 。

通过上述算法可以求得区域的边界, 然后用以下公式计算形心, 即

$$\bar{x}=\frac{1}{A} \sum_{(x, y) \in T} x,$$
$$\bar{y}=\frac{1}{A} \sum_{(x, y) \in T} y,$$

式中:  $A$  为输入图像;  $T$  为二值化迭代算法的阈值。形心提取结果如图 6a 中点  $c$  所示, 该点作为焊接热源的中心, 亦即焊枪的位置。

为了确定焊枪与焊缝之间的位置偏差, 必须知道焊缝的位置(焊缝中心)。从垂直于焊缝方向依次扫描, 根据焊缝图像灰度分布获得每一行的焊缝中心点, 如图 6a 中点  $u_p$  所示。由于焊接过程中的干扰, 使得检测到的焊缝中心点并不在一条直线上, 而实际的焊缝在小范围内可以近似为一条直线, 因此采用 Hough 变换的方法可以精确地拟合出焊缝直线, 如图 6b 所示。熔池图像中心点  $c$ (焊枪中心)到拟合的焊缝直线的垂直距离, 就是焊缝位置偏差。用该偏差驱动调节执行机构调整焊枪位置, 直到消除偏差为止。从视觉传感器摄取焊接熔池与焊缝图像开始, 经过图像变换处理, 到判断出焊缝位置偏差为止, 可在 25 ms 内完成。

3 结 论

论述了利用 CCD 摄像及计算机图像处理技术在 CO<sub>2</sub> 焊自动跟踪中的应用原理, 即利用 CCD 获取 CO<sub>2</sub> 焊熔池正面图像, 经过滤波变换, 利用数学形态学方法提取熔池即焊缝图像的边缘与中心, 进而确定出焊缝位置偏差并实现焊缝自动跟踪控制。该方法图像处理简单、焊缝位置偏差精确, 控制精度高; 可在不同工作环境下对 CO<sub>2</sub> 焊实现高精度实时跟踪控制。

参考文献:

[ 1 ] Ge J, Rao D, Zhu Z, et al. A machine vision approach to welding tube longitudinal seam tracking in real time[ J ]. Transactions of the China Welding Institution, 2003, 24(6): 77—80, 88.  
葛景国, 饶德林, 朱政强, 等. 焊管纵缝实时焊缝跟踪的机器视觉方法[ J ]. 焊接学报, 2003, 24(8): 77—80, 88.  
[ 2 ] Chen Q, Sun Z. Computer vision sensing technology and its application in welding[ J ]. Transactions of the China Welding Institution, 2001, 22(1): 83—90.  
陈 强, 孙振国. 计算机视觉传感技术在焊接中的应用[ J ]. 焊接学报, 2001, 22(1): 83—90.  
[ 3 ] 王建军, 林 涛, 陈善本, 等. 铝合金焊接熔池图像传感器[ J ]. 传感技术, 2001, 20(10): 14—16.  
[ 4 ] 吕学勤, 张 轲, 吴毅雄. 焊缝自动跟踪的发展现状与展望[ J ]. 机械工程学报, 2003, 39(12): 80—85.  
[ 5 ] 陈彦宾, 李俐群, 陈凤东, 等. 图像处理在自动焊接中的应用和展望[ J ]. 材料科学与工艺, 2003, 11(1): 106—112.  
[ 6 ] 王克争, 陈新征, 贾高峰. 线阵 CCD 视觉传感器埋弧焊自动跟踪系统[ J ]. 清华大学学报, 2003, 43(5): 597—600.  
[ 7 ] Lee J C M, Jain A K. Special Issue on image database[ J ]. Pattern. Recognition, 1997, 30(4): 537—658.

作者简介: 谷春艳, 女, 1969 年 4 月出生, 实验师。主要研究方向为机器人与焊接自动化, 发表论文 10 余篇。

Email: gcyan@zqu.edu.cn