

TIG 焊视觉图像的二值形态学分析

薛家祥, 张丽玲, 刘 晓

(华南理工大学 机械工程学院, 广州市 510640)

摘 要: 由于外部干扰小, 用 CCD 采集的 TIG 焊熔池区图像很清晰, 因此可以对该图像进行二值化处理。进而采用二值形态学方法分析了膨胀、腐蚀和开、闭四种基本运算的图像处理效果, 并在此基础上从图像的预处理到边缘检测, 做了更加深入的研究。由此, 设计出了一套具有阈值自适应功能的二值形态学算法。试验结果表明, 采用二值形态学对 TIG 焊视觉图像进行图像处理和特征提取, 可以取得很好的效果, 对后续的焊接质量控制和焊缝跟踪工作可以提供非常有用的熔池和焊缝信息。

关键词: 二值形态学; 图像处理; TIG 焊; 边缘检测

中图分类号: TG 44 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2005)06-25-04



薛家祥

0 序 言

数学形态学从 1964 年由 G. Matheron 和 J Serra 提出, 发展到现在, 算法日益完善, 并逐渐成为图像集合特征分析与处理的有力工具^[1,2]。它是以集合论、积分几何学、立体学和几何概率论为基础的一门非线性图像(信号)的处理和分析理论^[2]。数学形态学的图像处理方法已经被运用到各种处理和分析中, 诸如图像增强、噪声抑制、边缘检测、纹理分析和图像识别等等。而数学形态学首先是在二值图像的应用上获得成功的。同样, 在焊接领域, 近些年来也有很多采用二值形态学进行图像处理的实例。如在文献[3]中采用二值形态学的腐蚀和膨胀法对原始图像进行去噪处理; 在文献[4]中给出了一种基于二值形态学的形心提取算法以解决机器人视觉引导中目标点定位的问题。

TIG 焊(Tungsten Inert Gas Welding)相对与其它的焊接方式而言, 突出的优点是: 采用惰性气体作为保护气体, 保护作用极好, 几乎可以焊接所有金属, 应用面广; 由于填充焊丝不通电流, 不存在熔滴过渡问题, 焊接过程没有飞溅, 焊缝成形美观。因此, TIG 焊有着很好应用前景。针对 TIG 焊接图像的特点, 从数学形态学的理论出发, 对二值焊接图像的做了试验分析, 希望找到有效的特征提取和边缘检测方法。

1 二值形态学基本理论^[5]

数学形态学认为, 所谓的分析是对集合进行变换以突出所需的信息。其采用的是主观“探针”与客观的物体相互作用的方法。“探针”即“结构元素”, 也是一个集合, 它的具体形状依据分析的目的来决定。

1.1 二值图像的膨胀和腐蚀

在形态学中定义了两个基本的变换, 称为腐蚀和膨胀。

1.1.1 腐蚀运算

集合 A 被集合 B 腐蚀, 表示为 $A \ominus B$, 其定义为

$$A \ominus B = \{x; B + x \subset A\}, \quad (1)$$

式中: A 为输入图像, B 为结构元素。

腐蚀具有收缩图像的作用。腐蚀可以看作是将图像 A 中每一个与结构元素 B 全等的子集 $B[x]$ 收缩为点 x 。腐蚀在数学形态学运算中的作用是消除物体边缘点。

1.1.2 膨胀运算

膨胀是腐蚀的对偶运算, 可以通过补集来定义。 A 被 B 膨胀可以表示为 $A \oplus B$, 其定义为

$$A \oplus B = [A^c \ominus (-B)]^c, \quad (2)$$

式中: A^c 表示 A 的补集。为了利用 B 膨胀 A 可将 B 相对原点旋转 180° 得到 $-B$, 在利用 $-B$ 对 A 进行腐蚀运算, 则腐蚀结果的补集便是所求的结果。

膨胀运算具有扩大图像的作用, 膨胀可以看作是将图像 A 中的每一个点 x 扩大为 $B[x]$ 。

1. 2 二值图像的开闭运算

在形态学中除了腐蚀和膨胀两种基本的运算外,还有两种重要的二次运算,即形态学的开运算和闭运算。虽然开、闭运算是以腐蚀和膨胀定义的,但是,从结构元素的填充角度来看,它具有更为直观的几何形式,这也是二值形态学应用的基础。

1. 2. 1 开运算

利用结构元素 B 对图像 A 做开运算,即先做腐蚀然后做膨胀,用符号 $A \circ B$ 表示,其定义为

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B.$$
 (3)

开运算具有磨光图像外边界的作用。

1. 2. 2 闭运算

闭运算是开运算的对偶运算,即先做膨胀然后做腐蚀。利用 B 对 A 作闭运算表示为 $A \cdot B$,其定义为

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B.$$
 (4)

闭运算具有磨光图像内边界的作用。

2 二值形态学的算法实现

首先,进行图像二值化操作。CCD 原始图像为灰度图像,像素值范围为 $0 \sim 255$ 必须转化为二值图像,即像素值只有 $0\ 1$ 两个。因此,必须选择一个阈值,大于这个阈值的像素值为 1 ,反之像素值为 0 。二值化后,才可以进行下面的二值形态学处理。

依据上面的膨胀、腐蚀定义,可以写出具体的算法。二值腐蚀算法实现的步骤如下。

- ① 输入图像,从图像颜色索引表中获取数据。由于图像只有黑白两种颜色,因而只需对颜色索引表的索引值进行操作即可。
- ② 设置结构元素。由于索引值只能为 0 或者 1 ,因而结构元素的值可以为 1 或 0 。
- ③ 平移结构元素,按如下公式计算当前平移点处的值:

$$\begin{cases} 0 & \text{当存在一个 } i \text{ 使 } (A_i \& B_i) = 0 \text{ 成立} \\ 1 & \text{所有的 } (A_i \& B_i) \text{ 均等于 } 1 \end{cases}$$

式中: A_i, B_i 分别表示: 结构元素 B 的第 i 个分量所对应的物体 A 的颜色索引值; 结构元素 B 的第 i 个分量位置的元素值。

类似的,二值图像膨胀的计算步骤如下。

- ① 从颜色索引表中获取颜色数据。
- ② 设置结构元素。
- ③ 按照下面的公式计算当前平移点处的值:

$$\begin{cases} 0 & \text{当存在一个 } i \text{ 使 } (A_i \& B_i) = 1 \text{ 成立} \\ 1 & \text{所有的 } (A_i \& B_i) \text{ 均等于 } 0 \end{cases}$$

以上面两个基本运算为基础,接下来便可以做

开运算和闭运算,然后进行边缘提取,在这个算法里,提供了多种边缘提取的方式^[5]:

其中,外边界的算法为

$$(A \oplus B) \setminus B.$$
 (5)

内边界的算法为

$$A \setminus (A \ominus B).$$
 (6)

梯度算法为

$$(A \oplus B) \setminus (A \ominus B).$$
 (7)

总体的二值形态学图像处理算法框图如图 1 所示。在此算法框图中,为了保证在处理时能够自动地选择最优阈值,使得灰度图像二值化时不会丢失主要的焊缝信息,特别加入了二值化的阈值自适应算法。

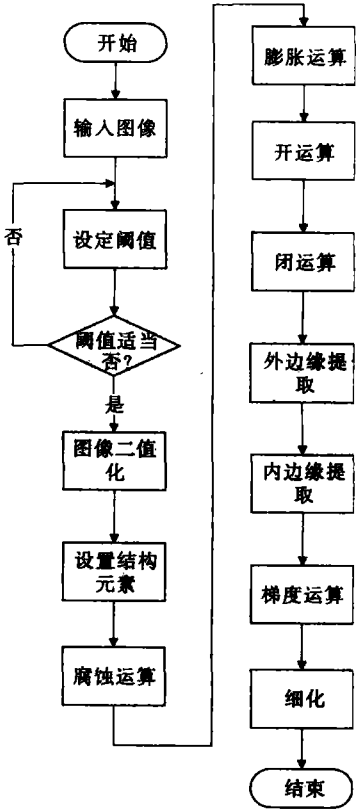


图 1 二值形态学图像处理算法框图
Fig 1 Binary morphology algorithm structure of image processing

3 TIG 焊图像试验结果分析

二值图像形态学的算法应用很广,包括边缘检测、条件膨胀、条件腐蚀、细化、分割、恢复和去噪声处理等等。作者在试验中主要是针对边缘检测和边缘细化进行了处理。

由于试验目的是为后续的焊接质量控制做前期图像处理工作,而焊接质量控制主要表现在对焊缝几何形状的调节上,焊缝几何形状又是与熔池几何

形状具有一一对应关系,因此,在试验中选取熔池几何参数重点研究对象。

在试验中, TG 焊焊接时没有外加送丝系统,因此在熔池区的飞溅和烟尘的影响很小,几乎可以忽略,但是在靠近熔池表面的区域中的温度较高,辐射较强(参见图 2a)。在试验中,只要选择适合的阈值,把原始图像转化为二值图像后,即可进行二值形

态学图像处理,基本不用考虑去噪的问题。图像处理效果如图 2b~图 2j所示(采用半径为 1 的圆形结构元素)。

从图 2b可以看出,在试验中由于阈值选择适当(选定为 127),二值化以后的熔池图像基本没有变形,试验效果比较理想。从图 2c和图 2d可以看出非常明显的缩小和放大的效果,而这正是腐蚀和膨胀的特性,尤其是在选择包含原点的结构元素时。图 2e和图 2f反映了开运算和闭运算所具有的内滤波和外滤波特性,如果将开、闭运算结合起来处理,还可以有效地抑制“椒盐”噪声^[6]。图 2g和图 2h分别是提取外边缘和内边缘的结果,从图中的效果来看,还是非常清晰而且完整地提取了熔池的边缘。图 2i提取的是梯度边缘,由于梯度边缘是膨胀图像和腐蚀图像之差,所以轮廓看上去很厚,因此需要进行细化处理,在图 2j中就是细化后的梯度边缘,这个轮廓大小在内、外边缘之间。

通过试验中的二值形态学在熔池图像处理应用,可以看出,二值形态学非常适合于 TG 焊熔池图像的处理,尤其是熔池边缘的提取。但是,对于其它焊接 CCD 图像,如 CO₂ 焊,由于噪声和干扰信号很大,采用二值形态学就不是很适合,因为二值化可能会丢失很多有用的信息,这时,就应该考虑直接用灰度形态学处理^[7]。

4 结 论

(1) 由原始图像可以发现 TG 焊熔池区并不是一个独立的区域,与焊缝及母材间并没有明显界限。由此可知, TG 焊图像的二值形态学处理的前提,是选择阈值的大小把焊接熔池的灰度图像转换为二值图像,因为阈值的选择直接影响到后续处理的效果。因此在图形的操作程序中必须加入二值化阈值的自适应算法。

(2) 二值形态学运算用于边缘检测时,还存在着结构元素的问题,即对象只对与结构元素同方向的边缘敏感。如在试验中换成方形结构元素,结果就不会相同。因此在具体实践中,可以考虑多方位、多形态的结构元素,运用不同的结构元素的逻辑组合检测出不同方向的边缘。

(3) 具体到边缘的提取时,在试验过程中可以采用多种不同的算法,这样得到不同层次的熔池边缘,可供后续的跟踪和控制过程选择使用。

(4) 二值形态学是数学形态学的基础,而且简

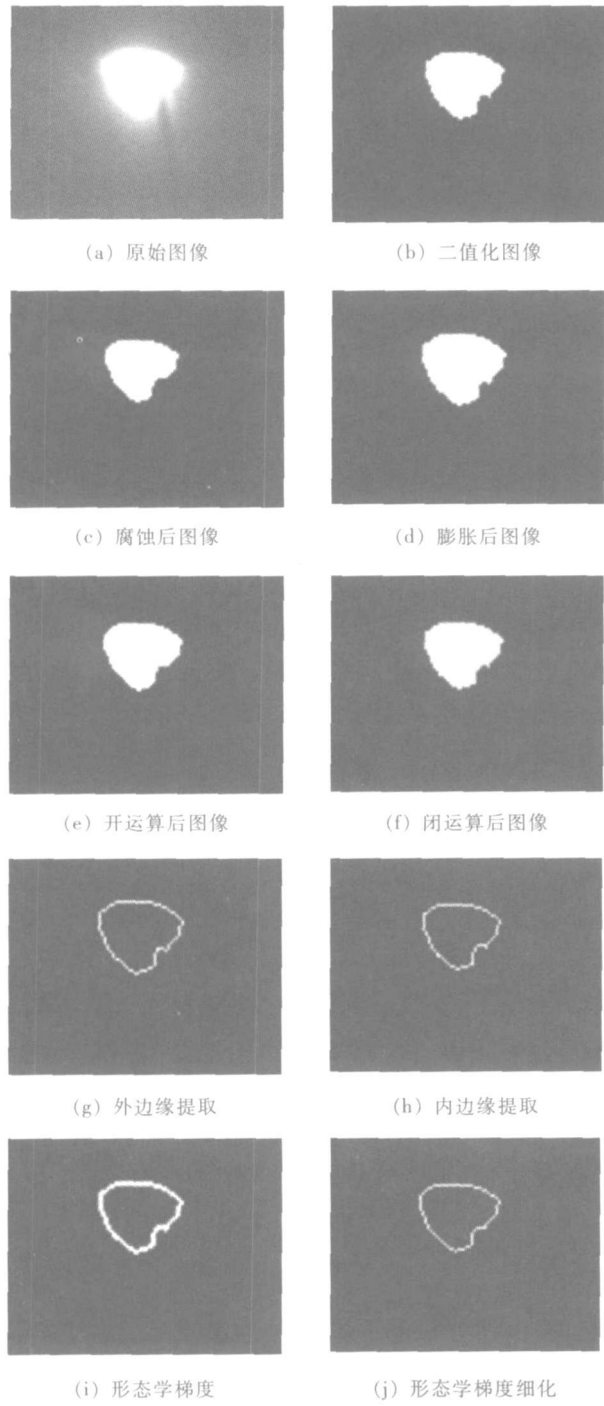


图 2 TIG 焊熔池 CCD 图像及其形态学算法实现
Fig. 2 Molten pool image of TIG welding
and morphological algorithm

下,电弧电流比较低,电弧的弧柱比较细,相应的电弧周围的冷气边界层比较厚,所以热等离子气体和阳极喷嘴之间由于对流换热导致的能量损失比较小,热效率也比较高;另一方面,也是主要的方面,则和电弧本身的自磁压缩有关。电弧本身由于电荷的定向运动,在其自磁场的作用下会产生指向电弧中心的电磁力,这种力对电弧产生的压缩效应叫做自磁压缩。自磁压缩能够保持电弧能量集中,防止能量扩散。当弧根在阳极 I 的表面形成时,电弧比较短,当等离子体流过弧根之后,由于自磁压缩效应的消失,等离子体能量向喷嘴冷壁的剧烈扩散,喷枪热效率急剧降低;而当弧根在阳极 II 的表面形成时,电弧比较长,等离子体在喷枪内部始终受到的自磁压缩效应有效地防止了能量向冷壁的扩散,喷枪的热效率也比较高。

双阳极等离子喷枪可以大大地提高等离子体的电弧电压,使电弧在比较小的电弧电流条件下达到很高的电弧功率。这种高电压、低电流的等离子电弧降低了对电源的要求和承载电网的负荷,扩展了喷枪的应用范围。此外,可以预计的是,当弧根在阳极 II 表面形成时,弧根在阳极处的可移动范围变小,电弧的分流运动也相应减弱,电弧工作更加稳定。这有利于粉末在等离子体中均匀地加热与熔化,提高涂层的质量。

3 结 论

(1) 阳极弧根的位置对等离子射流的特性分布

有着显著的影响,随着弧根位置向喷嘴下游的移动,等离子射流的温度、速度以及传热能力都有很大的提高。

(2) 随着阳极弧根向喷嘴下游移动,喷枪的热效率有明显的提高。原因是增强的自磁压缩作用有效地防止了热等离子体向喷嘴的传热。

参考文献:

[1] 高 阳. 节能高效等离子喷涂设备的开发和喷涂组织[J]. 中国表面工程, 1999 39(3): 24 - 27.

[2] Seungho Paik, Huang P C, Heberlein J *et al* Determination of the arc root position in a dc plasma torch[J]. Plasma Chemistry and Plasma Processing 1993 13(3): 379 - 397.

[3] Coudert J F, Planche M R, Fauchais R *et al* Velocity measurement of DC plasma jets based on arc root fluctuations [J]. Plasma Chem. and Plasma Process., 1995 18(1): 47 - 70

[4] Dorier J L, Hollenstein C. Influence of external parameters on arc fluctuations in a F4 DC plasma torch used for thermal spraying [C]. ITSC2000 37 - 43

[5] Duan Z, Heberlein J. Anode boundary layer effects in plasma spray torches[C]. ITSC2000 2000 1 - 7

[6] Swank W D, Fincke J R, Haggard D C. Modular enthalpy probe and gas analyzer for thermal plasma measurement[J]. Rev. Sci. Instrum., 1993 64(1): 56 - 62.

[7] 严志军, 高 阳, 安连彤. 低能高效非转移弧等离子喷枪的特性研究[J]. 中国表面工程, 2002 57(4): 39 - 41.

作者简介: 安连彤, 男, 1977 年 3 月出生, 博士研究生。从事低能等离子射流的特性研究, 发表论文 3 篇。

Email angry_ange@sohu.com

[上接第 27 页]

单,运算速度快,因此研究二值形态学算法在 TIG 焊图像的运用,效果还是非常好的。但是具体的算法还需要不断的探索实践,比如结构元素形状、大小的选取,灰度阈值的确定及其自适应算法,都还需要更多的试验分析。

参考文献:

[1] Serra J. Image analysis and mathematical morphology [M]. London: Academic Press, 1982.

[2] 龚 炜, 石青云, 程民德. 数字空间中的数学形态学——理论及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.

[3] Wu L i a, Dai M i n g, Li Y a n. Weld area extracting and weld defect fidelity getting for image of aluminum weld seam[J]. Transactions of the China Welding Institution 2001 22(2): 1 - 4

吴 林, 戴 明, 李 岩. 铝合金焊缝图像的焊接区域提取和缺陷尺寸形状保真[J]. 焊接学报, 2001 22(2): 1 - 4

[4] 李金泉, 陈善本, 吴 林. 一种用于弧焊机器人视觉引导的图像底层处理算法 [A]. 第十次全国焊接会议论文集 [C]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 2001. 656 - 659.

[5] 崔 屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000

[6] 赵春晖. 数字形态滤波器理论及其算法研究 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001

[7] Dougherty E R. Mathematical morphology in image processing [M]. New York: Marcel Dekker, 1993.

作者简介: 薛家祥, 男, 1962 年出生, 博士、副教授, 主要从事弧焊过程小波分析、神经网络模糊控制及新型弧焊逆变器的研究工作, 发表论文 60 余篇。

Email mejiaxue@scut.edu.cn