

基于分形和数学形态学的MAG焊熔池图像分析

刘 晓¹, 薛家祥², 许策明¹

(1.广州工程技术职业学院 机电工程系, 广东 广州 510640; 2.华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510640)

摘要:焊接过程产生的烟尘、弧光以及飞溅导致焊接熔池图像中存在大量的噪声,运用对噪声敏感的图像处理很难准确地提取熔池图像的信息。提出了一种基于分形和数学形态学理论的综合图像处理方法。该方法利用分形理论中离散分数布朗随机场理论得到按分形维分布的熔池灰度图像后,采用常规的图像处理提取图像边缘,然后利用数学形态学中开运算和闭运算,得到图像的强连通边界,并利用二值形态学中的连通域检测去除噪声得到目标图像。试验结果表明该方法能够快速、准确地检测到熔池的边缘、高度、宽度以及面积等信息。

关键词:分形维数;数学形态学;边缘检测;MAG焊熔池图像

中图分类号:TP242

文献标识码:A

文章编号:1001-2303(2009)07-0081-04

Analysis of the molten pool image of MAG welding based on fractal and mathematical morphology

LIU Xiao¹, XUE Jia-xiang², XU Ce-ming¹

(1.Department of Mechanical Engineering, Guangzhou Institute of Technology, Guangzhou 510640, China; 2.College of Mechanical Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510640, China)

Abstract: There exist a large amount of noises in the welding pool image because of dust, arc, splash and other interference factors accompany with the welding process. It is difficult to pick up the information of welding pool image if we use the image processing methods those sensitive to the noises. This paper brings forward a novel composite image processing method using fractal and mathematical morphology theory. First, get the gray-scale image of the welding pool using discrete fraction Brown random field theory that based on the fractal theory. And then, detect the image edge using routine image processing method. Second, get the successive edges of the image using the Open-Close operation that based on the mathematical morphology theory. Third, detect the connected domain and get the target image. Experiment results show that this method can recognize the edge of welding pool accurately, so we can also get the width, height and area of the image.

Key words: fractal dimension; mathematical morphology; edge detection; molten pool image of MAG welding

0 前言

由于MAG焊具有熔滴过渡稳定、焊缝表面质量好、焊接成本较低以及适合焊接的钢种广泛等优势,使其在焊接领域具有举足轻重的作用。但MAG焊存在大量的飞溅、强烈的弧光和烟尘等噪声干扰,不易获得清晰稳定的近缝区图像^[1],图像分析时如何

从一幅噪声污染严重的焊接图像中准确地提取到熔池的边缘及其信息一直是MAG焊熔池图像处理的研究热点。

经典的图像边缘检测算子如Roberts、Laplacian等引入了一阶甚至二阶导数的微分运算,对噪声非常敏感,不适合处理噪声污染严重的焊接图像。分形理论中的分形维数能够反映出图像表面灰度曲面的粗糙程度^[2],利用分形理论进行边缘检测时,仅是检测计算图像中每个像素的粗糙度,不会产生新的

收稿日期:2009-05-19

作者简介:刘 晓(1982—),女,山西朔州人,硕士,主要从事机械类课程的教学与科研工作。

噪声,而且可以较好地抑制噪声;利用数学形态学中被处理图像与结构元素的开运算和闭运算,可以将图像中孤立的或小段连续的边界快捷地转化为强连通边界。将这两种方法结合起来,就能较好地达到边缘检测的目的。另外,在二值图像中,用数学形态学的方法通过检测连通域可以很容易地区分出图像中的不同物体,从而快捷地提取到目标图像。

1 基于离散分数布朗随机场模型的边缘提取理论

Pentland 通过对自然景物纹理图像的研究,证明了自然界中大多数物体表面影射成的灰度图像是具有相同分形特征的分形表面,且大多数自然景物的灰度图像是满足各向同性离散分数布朗随机场模型的^[3]。既然图像表面统计特性满足各向同性的分数布朗随机场,而在不同的区域内分形特征参数 H 值会发生奇异转变,因此可以利用分形特征参数 H 值的奇异转变来进行图像的边缘检测^[4-5]。

选取一块 $N \times N$ 区域的图像区域,图像区域中某一点像素的灰度强度用 $F(x, y)$ 表示,因为图像灰度场满足离散分数布朗随机场(DFBR 场),因此有

$$E[|F(x_2, y_2) - F(x_1, y_1)|] = k \cdot [\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}]^H \quad (1)$$

令

$$\Delta F_{\Delta r} = |F(x_2, y_2) - F(x_1, y_1)|$$

$$\Delta r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

则有

$$E(\Delta F_{\Delta r}) = k \cdot \Delta r^H$$

等式两边取对数得

$$\log[E(\Delta F_{\Delta r})] = H \cdot \log(\Delta r) + C$$

其中

$$E(\Delta F_{\Delta r}) = \frac{\sum_{x_1=0}^{M-1} \sum_{y_1=0}^{M-1} \sum_{x_2=0}^{M-1} \sum_{y_2=0}^{M-1} [|F(x_2, y_2) - F(x_1, y_1)|]}{P_n(k)} \quad (2)$$

式中 H 为分形维特征参数; $\Delta F_{\Delta r}$ 为图像区域中两像素点灰度值差的绝对值; Δr 为图像区域中所有可能的像素点对之间的距离; $P_n(k)$ 为某一特定 Δr 距离的所有像素点对的数目; C 为一常数。

这样,在图像区域中任意指定一个像素点对的距离,就能够得到一对数据 $(\log[E(\Delta F_{\Delta r})], \log(\Delta r))$,通过最小二乘法对图像区域中所有距离对应的数据进行拟合,就能够得到该图像区域中心像素的分形特征参数 H 。由于 DFBR(discrete fractional Brownian random field)场具有自仿射分形特征,因而一定有

$0 < H < 1$,而且 Hurst 指数 $H(0 < H < 1)$ 越小,像素的表面越粗糙。但是图像若存在于不同的区域就破坏了 DFBR 场的一致性,因而会出现 H 值的奇异,即 $H > 1$ 的情况^[6]。

由 Hurst 指数可以得到图像表面的分形维数

$$D = D_T + 1 - H$$

式中 D_T 为图像表面的拓扑维数,由于拍摄到的图片为平面图像,故其拓扑维数为 2。因此分形维数 $D = 3 - H$ 。

本研究采用 3×3 的模板将模板自左到右、自上到下遍历整幅图片就可得到整个图像中所有像素的分形维数,然后根据 H 值的奇异转变确定图像的边缘。

2 形态学边缘连接和连通域检测理论

数学形态学是以几何学为基础,着重研究图像几何结构的一种图像处理方法,所有的形态学处理都基于填充结构元素的概念,结构元素就像一根探针一样,在图像中不断移动时可以考察到图像中各个部分间的相互关系,从而了解到图像各个部分的结构特征。假设 A, B 为两个集合,则开运算和闭运算的定义为

$$\text{开运算: } A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

$$\text{闭运算: } A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

式中 A 为被处理图像, B 为结构元素; \oplus 即对图像进行膨胀, \ominus 即对图像进行腐蚀。因此 $A \circ B$ 即为 A 先被 B 腐蚀,然后被 B 膨胀的结果; $A \cdot B$ 即为 A 先被 B 膨胀,然后被 B 腐蚀的结果。

从几何角度来看,膨胀类似于图像的扩张,腐蚀类似于图像的收缩。根据开运算和闭运算的特点,开启运算可以将比结构元素小的突刺滤掉,切断细长搭接而起到分离作用^[7]。闭合运算可以将比结构元素小的缺口或孔填充上,搭接短的间断而起到连通的作用。

连通组元的提取:设 Y 为集合 A 中的一个连通组元,并设已知 Y 中的一个点,那么用下列迭代公式得到 Y 的全部元素

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

当 $X_k = X_{k-1}$ 时停止迭代,这时取 $Y = X_k$ 。其中, A 为被处理图像, B 为结构元素;由于方形模板会产生强连通的边界,即连续的边界;而强邻接像素模板得到的是弱连通边界^[8];基于边缘提取的需要,在此采用 3×3 原点邻接像素结构元素。

3 图像处理结果与分析

MAG 焊熔池图像边缘提取的整个过程所得到的一组图片如图 1 所示。图 1a 为原始图像,图 1b 为运用分形中 DFBR 场理论通过分形特征参数 H 值的奇异转变提取到的图像边缘。由图可以看出,熔池的边缘已经基本提取出来了,没有产生新的噪声,并且在焊接弧光的高噪声区域也有效的抑制了噪声,减弱了弧光对边界的干扰;图 1c 为利用中值滤波对图像进行凸显边缘的结果;图 1d 为运用 Sobel 算子进一步提取的结果;图 1e 为运用数学形态学中的开闭运算去除毛刺连接图像边缘的结果;图 1f 为运用数学形态学检测连通域后去除噪声获取目标图像的结果,由图可以看出该方法可以方便快捷准确地提取到图像的目标图像部分。

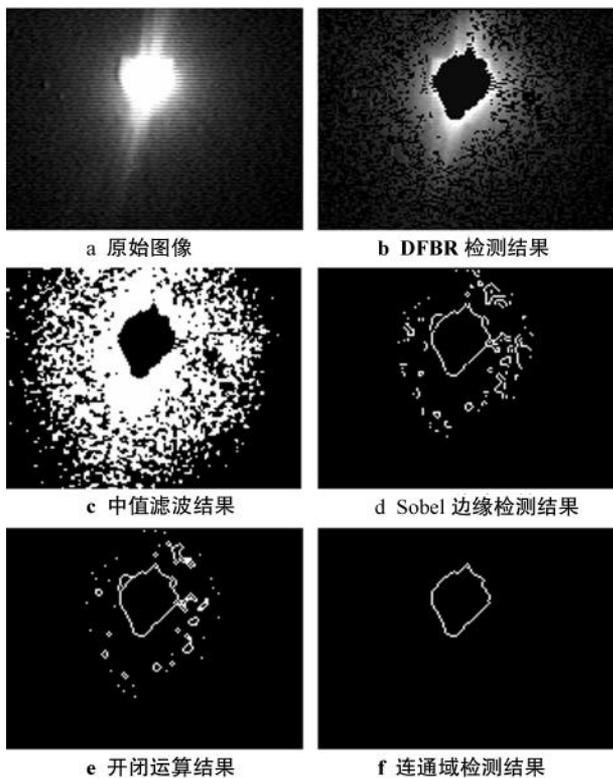


图 1 MAG 焊熔池图像边缘提取过程

Fig.1 Edge detection of molten pool image of MAG welding

由图 1 可知,整个图像边缘提取处理过程步骤较少,程序运行时间较短,对同步在线检测提供了时间保证;另外,检测到的图像边缘保持了较高的精确度,真实反映了原始图像信息。

熔池动态信息的获取包括及时计算熔池图像的高度、宽度和面积,并及时反馈给焊接设备以调整焊接参数保证焊接质量。利用边缘检测算法检测

到的 MAG 焊熔池图像边缘进而获取正面熔池图像信息的实例如图 2 所示,焊接熔池图像的宽度和高度计算如图 3 所示。得到熔池图像的边缘后,沿 a 方向逐行扫描图像,计算出每一行含有的熔池像素数,其中数值最大的一行即为熔池宽度,叠加每一行的像素数即可得到熔池面积;同理,沿 b 方向逐列扫描图像就可以得到熔池高度。表 1 为图 2 中相应图像所对应的熔池宽度、高度和面积。

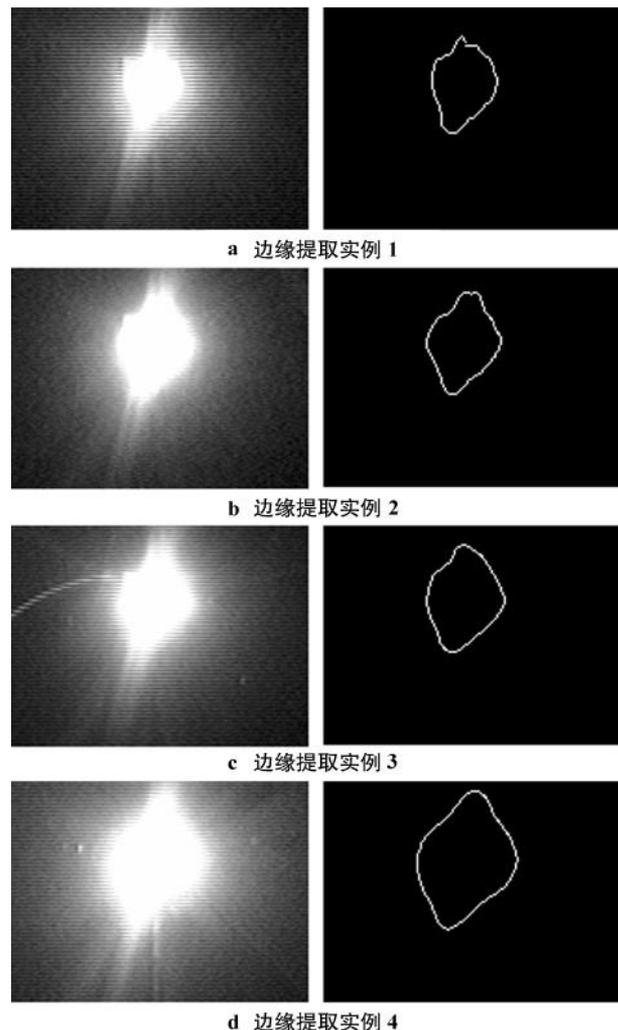


图 2 MAG 焊熔池原始图像与边缘提取结果

Fig.2 Edge pick up from the molten pool of the MAG welding

实际焊接时用 CCD 摄像机拍摄熔池图片并检测边缘;根据检测到的边缘计算出熔池的宽度、高度和面积以获得熔池的正面信息;然后根据熔池的高度、宽度和面积所提供的信息确定熔透状况;进而根据熔透状况及时调整焊接峰值电流并反馈给焊接设备,达到保证焊接质量的目的。

焊接过程是一个时变的过程,由于焊接过程中

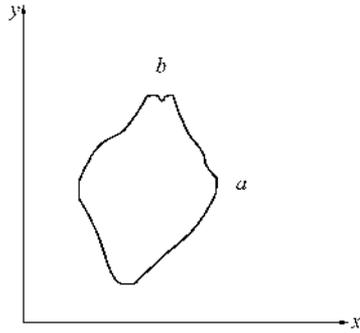


图 3 熔池的宽度和高度计算示意

Fig.3 Calculate the width and height of molten pool

表 1 图 2 所对应的正面熔池图像信息

Tab.1 Image information of the top-side molten pool corresponding to the Fig.2

图像	宽度/pixel	高度/pixel	面积/pixel
实例 1	36	50	1 232
实例 2	41	53	1 557
实例 3	43	57	1 635
实例 4	55	68	2 622

存在很多不确定因素,因而对焊接过程的稳定性控制一直是研究热点,而准确获取焊接熔池动态特征信息显得尤为关键。

4 结论

(1)分形维数反映了图像表面灰度曲面的粗糙程度,因而用分形理论在进行边缘检测时不仅不会

产生新的噪声,而且能够有效地抑制噪声。

(2)提出的基于分形和数学形态学的方法能够快速准确地提取到噪声污染较严重的 MAG 熔池图像的边缘。

(3)准确地提取到熔池图像的边缘,进而提取到熔池的高度、宽度和面积等信息将对进一步控制焊接电流、电压以控制焊接参数保证焊接质量具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 薛家祥,杨三国,张丽玲.单片机控制 MAG 焊逆变电源设计[J].电焊机,2006,36(4):66-69.
- [2] 曼德尔布洛特(法)著.分形对象——形、机遇和维数[M].文志英,苏虹译.北京:世界图书出版公司北京公司,1999:34-38.
- [3] Pentland A P.Fractal-Based Description of Natural Scenes[J].IEEE Trans. on PAMI, 1984, 6(6):661-674.
- [4] 蒋加伏,陈霁祥,唐贤璞.基于小波变换的分形图像去噪与边缘检测[J].计算技术与自动化,2003,22(4):51-54.
- [5] 肖勇,陈强,孙振国,等.分形理论在焊接图像处理中的应用[J].中国图像图形学报,2002,7A(1):86-90.
- [6] 段毅华,王雨点.基于分形和数学形态学的图像边缘检测[J].计算机工程与应用,2004,(14):63-64.
- [7] 崔屹.图像处理与分析—数学形态学方法与应用[M].北京:科学出版社,2000,28(6):56-59.
- [8] 章毓晋.图像工程(上):图像处理和分形[M].北京:清华大学出版社,1999:261-267.

Page 68 完善一元化的调节技术;开发了双脉冲 MIG 弧焊电源,高精度控制脉冲 MIG 焊的多参数及其优化匹配,扩大稳定的工作调节范围,大幅改善焊缝成形和质量。

(4)多个弧焊电源的组合工作与协同数字化控制,实现双丝、三丝高速高效 MIG/MAG/脉冲焊/埋弧焊新焊接工艺。

(5)绿色弧焊电源。绿色焊机的概念是在全球资源与能源日渐紧缺、人们的环保意识逐渐增强的情况下提出的。从近年来欧盟和发达国家对弧焊电源的要求来看,节能环保的绿色焊机必将是未来弧焊电源的发展方向。

5 结论

社会的进步对制造加工技术不断提出新的要求,近年来随着市场竞争的日趋激烈,提高焊接生

产效率、保证产品质量,实现焊接生产的自动化、智能化越来越得到焊接生产企业的重视。而现代高新技术的融入,也促使弧焊技术向着焊接工艺高效化、焊接电源控制数字化、焊接质量控制智能化、焊接生产过程机器人化的方向发展,随着与现代高科技相互交叉渗透,生产过程自动化中的主要发展趋势体现在高效化、智能化、数字化和机器人化等方面,弧焊设备也向着智能化发展、机器人化发展。

参考文献:

- [1] 黄石生.弧焊电源及其数字化控制[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [2] 潘际奎.现代弧焊控制[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 中国焊接协会.中国焊接年鉴[M].北京:机械工业出版社,2001:11-14.
- [4] 刘晓明,董俊慧,徐润生.IGBT 焊接电源及微机控制技术的应用与发展[J].电焊机,2003,33(1):15-18.