

# 改进的 Otsu 法在焊接图像分割中的应用

齐继阳, 李金燕, 陆震云, 魏 赛

(江苏科技大学 机械工程学院, 镇江 212003)

**摘 要:** 为把焊缝区准确地从焊接图像中分离出来, 以便进行焊接质量的在线分析, 文中针对焊接图像灰度级多、信息量大、对比度低、图像部分细节模糊等特点提出了一种新的改进的 Otsu 法, 在考虑类间方差和类内方差对图像分割效果影响的基础上, 用方差信息代替均值信息, 构建了焊接图像分割阈值算法, 用以提高焊接图像的分割质量和图像实时处理的速度。结果表明, 文中所提出的算法达到了很好的焊接图像分割效果, 图像分割耗时短, 相对于目前的图像分割方法具有明显的优越性, 是一种有效的焊接图像阈值分割方法。

**关键词:** 图像分割; 焊缝图像; 阈值选取

**中图分类号:** TG 409      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0253-360X(2016)10-0097-04

## 0 序 言

焊接在现代化工业生产中得到广泛的应用, 尤其是在建筑业、造船业等领域是一项非常重要的工艺。随着时代的发展, 人们对焊接工艺提出了更高的要求, 传统依靠人工识别焊接质量的方法已经无法满足现代化工业生产的要求了。这就促使焊接生产向着具有视觉的智能焊接机器人及焊接自动化方向发展。图像处理在基于视觉传感的系统中起着十分关键的作用。焊接图像处理的最终目标就是提取出焊接部位的有用信息, 如焊缝、熔池以及焊接缺陷的几何尺寸和位置信息, 以便用于焊缝跟踪、熔池信息的实时控制、焊接缺陷的检测和焊接质量分析。图像处理一般都包含图像预处理、图像分割和特征提取与分析几大部分, 而图像分割是图像处理的重要一环。图像分割算法的好坏, 直接影响到焊接质量的分析和实时控制。

图像分割就是根据不同区域在某些特征方面的差异, 把人们感兴趣的区域从背景中分离出来<sup>[1]</sup>。图像分割的应用现在变得非常广泛, 但是它的发展却是很慢, 被认为是计算机视觉发展的一个瓶颈。迄今为止, 难以找到一种分割方法适用于所有的图像, 也难以找到一类图像所有的分割方法都适用于它。近年来, 随着科研人员的努力, 原有的图像分割方法得到了不断地改进, 提出了许多新的分割方法, 主要有阈值法<sup>[2]</sup>、边缘检测法<sup>[3]</sup>、区域法<sup>[4]</sup>、聚类

法<sup>[5]</sup>等等。近年来, 一些学者将智能算法应用于图像分割中, 主要有模糊集理论、遗传算法、神经网络算法、免疫算法<sup>[6,7]</sup>等等。在众多的图像分割方法中, 日本学者 N. Otsu 于 1979 年提出的一种最大类间方差法(简称传统 Otsu)被认为是图像分割的最优方法之一<sup>[8]</sup>。传统 Otsu 法由于具有计算量小、实效性强、图像分割质量优越等一系列优点, 而得到广泛的应用, 但是传统 Otsu 算法要求图像的目标和背景分布均匀, 即要求图像的灰度直方图为单峰的, 基本符合正态分布。而焊接图像由于受到电弧光、飞溅等的影响, 图像部分细节变得模糊, 图像对比度降低, 传统 Otsu 算法已经不再适用于焊接图像的分割<sup>[9]</sup>。

针对焊接图像的特点, 探索适用于焊接图像的图像分割方法, 是实现焊接质量在线监测的关键, 因此, 具有重要的理论意义和应用价值。

## 1 焊接图像分割的基本概念

对于焊接图像来讲, 图像分割的主要目的就是要从焊接图像中提取出真实的目标信息, 摒弃其他因电弧光、飞溅等而产生的无关信息。通过平滑滤波和图像对比度增强, 焊接图像分割的目标和背景有了较为强烈的对比, 但为了后续的图像特征提取与分析, 则希望通过图像分割使得目标信息成为唯一的存在, 而其他无关信息则全部去除。

焊接图像分割就是把无关区域灰度值变为 0 或 255, 而焊接目标区域的灰度值变为 255 或 0。图像分割处理的公式为

$$G(x, y) = \begin{cases} 255 & f(x, y) \geq t \\ 0 & f(x, y) < t \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $G(x, y)$  是焊接图像分割处理后像素点  $(x, y)$  的灰度值;  $f(x, y)$  表示焊接图像分割处理前图像上像素点  $(x, y)$  的灰度值;  $t$  表示图像分割阈值. 阈值  $t$  的选择是阈值法进行图像分割的关键. 若选择不当, 则会把目标点误当成背景点, 丢失掉图像上有用信息; 或把背景点误当成目标点, 不利于焊接图像的特征的提取与识别. 所以, 阈值选择至关重要.

## 2 传统 Otsu 算法

传统 Otsu 算法基本思想是: 设阈值将整幅图像的灰度直方图分割成两部分, 一部分对应的是目标; 另一部分对应的是背景, 穷尽搜索整个图像的灰度直方图, 使得图像的目标和背景之间的类间方差最大的灰度值确定为图像的最佳分割阈值<sup>[10]</sup>.

假设一幅图有  $m \times n$  个像素点, 图像的灰度级为  $l$ , 即像素点灰度值的取值范围为  $G_l = \{0, 1, 2, \dots, l-1\}$ , 设图像的初始分割阈值为  $t$ , 则把图像分割成两个区域:  $C_0$  和  $C_1$ ,  $C_0$  灰度值取值范围为  $[0, t]$ ,  $C_1$  灰度值取值范围为  $[t+1, l-1]$ . 设  $w_0, w_1$  分别为  $C_0$  和  $C_1$  区域像素点数占图像的比例,  $u_0, u_1$  分别为  $C_0$  和  $C_1$  区域像素点的平均灰度值,  $u$  为整幅图像的平均灰度.

图像的类间方差  $\sigma_B^2$  为

$$\sigma_B^2 = w_0 (u_0 - u)^2 + w_1 (u_1 - u)^2 \quad (2)$$

该式运算过程比较复杂, 所以化简为

$$\sigma_B^2 = w_0 w_1 (u_0 - u_1)^2 \quad (3)$$

采用传统 Otsu 法求得最佳分割阈值  $t^*$  为

$$t^* = \text{Arg} \max_{0 \leq t \leq l-1} (w_0 w_1 (\mu_0 - \mu_1)^2) \quad (4)$$

将  $t$  的值从 0 到  $l-1$  进行变化, 使得图像的类间方差  $\sigma_B^2$  取得最大值的  $t$  则为该图像的最佳分割阈值.

## 3 改进的 Otsu 算法

### 3.1 最大类间与类内方差比 Otsu 法

传统 Otsu 法只考虑了类间方差一个因素, 使得用阈值分割出的两部分尽量远离图像的中心, 即目标与背景之间的间距越大越好, 但是却没有考虑到目标和背景各自类中的像素和各类中心之间的关系, 忽略了类内方差对图像分割效果的影响. 针对上述问题, 蔡艳梅等人<sup>[11]</sup>提出了最大类间与类内方差比 Otsu 法, 同时考虑了这两个因素的影响, 既能保证类间距离最大, 又能做到每个类的内聚性好, 使

得焊接图像的分割效果得到了很大的改善.

定义类内方差  $\sigma_w^2$  为

$$\sigma_w^2 = \frac{1}{w_0} \sum_{i=0}^t [(i - \mu_0)^2 p(i)] + \frac{1}{w_1} \sum_{i=t+1}^{l-1} [(i - \mu_1)^2 p(i)] \quad (5)$$

式中:  $p(i)$  为整幅图像中灰度值为  $i$  的像素点所占的百分比.

以类间方差与类内方差之比作为目标函数,  $t$  为优化对象, 求取最佳阈值  $t^*$  使目标函数取最大值. 类间与类内方差比的 Otsu 法求得最佳阈值  $t^*$  为

$$t^* = \text{Arg} \max_{0 \leq t \leq l-1} (\sigma_B^2 / \sigma_w^2) \quad (6)$$

将  $t$  的值从 0 到  $l-1$  逐一进行变化, 使得类间与类内方差比取得最大值的  $t$  则为该图像的最佳分割阈值  $t^*$ .

该算法与传统的 Otsu 法相比具有一定的优越性, 但是该算法的复杂度增加了, 图像处理时间变长, 该算法的时效性变弱了.

### 3.2 方差信息代替均值信息的 Otsu 法

由于传统 Otsu 算法仅适用于目标与背景分布均匀的图像, 所以在处理灰度级多、信息量大的焊接图像时具有一定的局限性. 韩青松等人<sup>[12]</sup>针对传统 Otsu 算法的缺点提出了一种用方差信息代替均值信息的算法. 该算法对于同一目标内部灰度值变化比较弱, 不同目标之间灰度值变化比较明显的焊接图像具有明显的优越性. 该算法计算过程如下.

定义焊接图像  $C_0$  区域类间方差  $\sigma_{B_0}^2$  为

$$\sigma_{B_0}^2 = (u_0 - u)^2 \quad (7)$$

焊接图像  $C_1$  区域类间方差  $\sigma_{B_1}^2$  为

$$\sigma_{B_1}^2 = (u_1 - u)^2 \quad (8)$$

焊接图像类间方差公式  $\sigma_B^2$  为

$$\sigma_B^2 = w_0 \cdot w_1 (\sigma_{B_0}^2 - \sigma_{B_1}^2)^2 \quad (9)$$

根据上述算法的原理, 文献<sup>[12]</sup>的改进的 Otsu 法的最佳阈值  $t^*$  为

$$t^* = \text{Arg} \max_{0 \leq t \leq l-1} (w_0 \cdot w_1 (\sigma_{B_0}^2 - \sigma_{B_1}^2)^2) \quad (10)$$

将  $t$  的值从 0 到  $l-1$  进行变化, 使得焊接图像类间方差取得最大值的  $t$  则为该图像的最佳分割阈值  $t^*$ .

与传统算法相比, 该算法结合焊接图像的特点, 用方差信息代替传统算法的均值信息, 改进了阈值判别准则函数, 有效地减少图像的灰度受平移变化和线性变化的影响, 减少了图像处理的时间, 算法的时效性有所提高, 具有明显的优越性. 但是该算法只考虑了类间方差因素的影响, 而没有考虑到类内聚性, 又具有一定的片面性.

## 4 焊接图像分割算法

焊接图像受到电弧光、飞溅等影响,使得图像的对比度降低,图像的部分细节变得模糊,不利于焊接图像边缘的提取和特征分析。

Otsu 理论中目标与背景的分布是以灰度均值来表示的,而方差是灰度分布的另一种表示方式。方差是灰度分布均匀性的一种度量,它代表图像灰度直方图的离散程度,对于一幅焊接图像来讲,目标和背景区域各自内部一般较均匀,方差变化较小,而在边界及其附近点的方差变化比较大。若是把整个边界及其附近点方差变化较大的部分错分到图像的某个部分,则可能导致该部分的方差与总图像的方差很接近,对于焊接图像来讲,则可能导致分割的焊缝边缘模糊甚至难以提取到完整的焊缝边缘。用方差代替均值的算法能有效地减少图像的灰度受平移变化和线性变化的影响,具有一定的优越性,同时再考虑类内方差这个因素的影响,使得目标和背景每个类的内聚性提高,图像的分割质量得到明显改善。

基于上述思想,文中焊接图像分割的最佳分割阈值  $t^*$  为

$$t^* = \underset{0 \leq t \leq l-1}{\text{Arg max}} \frac{w_0 w_1 (\sigma_{B_0}^2 - \sigma_{B_1}^2)^2}{\frac{1}{w_0} \sum_{i=0}^t ((i - \mu_0)^2 p(i)) + \frac{1}{w_1} \sum_{i=t}^{l-1} ((i - \mu_1)^2 p(i))} \quad (11)$$

将  $t$  的值从 0 到  $l-1$  逐一进行变化,使得上式取得最大值的  $t$  则为该图像的最佳分割阈值。

## 5 试验结果与分析

### 5.1 试验结果

为验证文中提出的焊接图像分割算法的有效性,选取某幅焊接图像进行试验验证。测试平台操作系统为 Win7、CPU 为英特尔 (Intel) 酷睿 i3 - 4150,内存为 4G 的 PC 机,用 VB.net 分别基于传统 Otsu 算法、类间与类内方差比的 Otsu 法、方差代替均值的 Otsu 法以及文中提出的算法开发了图像分割软件,对文中采集的焊接图像进行图像分割试验以从整幅焊接图像中分割出焊缝区域。结果如图 1 所示,图 1b ~ 图 1e 分别为用传统 Otsu 算法、类间与类内方差比的 Otsu 法、方差代替均值的 Otsu 法,以及文中提出的算法对文中采集的焊接图像 (图 1a) 进行分割后从整个焊接图像中分割出焊缝区域。

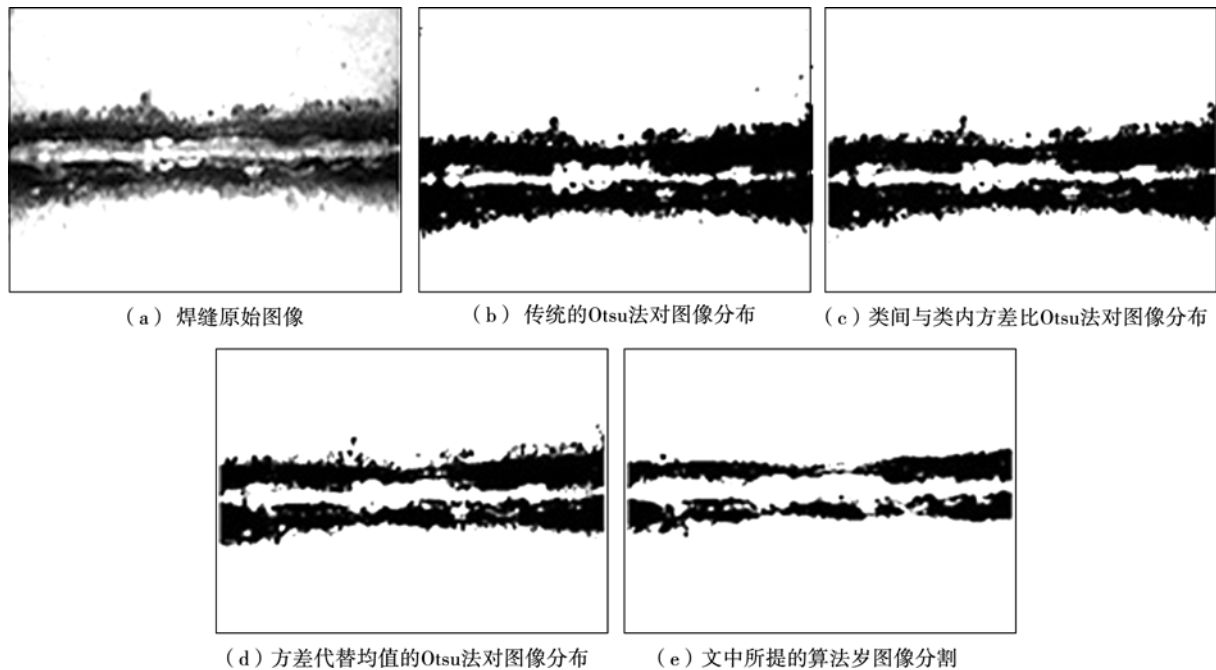


图 1 不同算法分割后的图像

Fig. 1 Image segmentation results by different algorithms

### 5.2 试验结果分析

从图 1 以及表 1 试验结果可以看出,文中提出的算法具有明显的优越性。在计算时间上传统的算

法要遍历整个图像的灰度直方图来确定最佳阈值,所以计算时间相对较长。文中也计算了类内和类间方差,但是计算时用方差信息代替了均值信息,减少

了部分计算时间,提高了算法的运算速度.

在图像的分割效果上,文中延续了传统算法和改进的两种算法的优越性,既考虑了类内方差和类间方差对图像分割效果的影响,又用方差信息代替均值信息,有效地克服了传统的算法易受图像的灰度线性变化和平移变化影响,使得分离出来的目标轮廓更加清晰,分割效果更加理想.

表 1 试验结果  
Table 1 Experimental results of image

	阈值	时间 $t/s$
传统法	154	0.520
方差比法	122	1.021
方差法	78	0.180
文中提出的方法	91	0.370

## 6 结 论

(1) 焊接图像同一目标内部灰度值变化比较弱,不同目标之间灰度值变化比较明显,在其图像分割过程中,用方差代替均值的算法能有效地减少图像的灰度受平移变化和线性变化的影响,具有一定的优越性.

(2) 在图像分割过程中,考虑类内方差的影响,使得目标和背景每个类的内聚性提高,图像的分割质量能够得到明显改善.

(3) 在图像分割过程中,用方差信息代替了均值信息,减少了部分计算时间,提高了算法的运算速度.

## 参考文献:

- [1] 许新征,丁世飞,史忠植. 图像分割的新理论和新方法[J]. 电子学报, 2010, 2(2A): 76-81.  
Xu Xinzheng, Ding Shifei, Shi Zhongzhi. New theories and methods of image segmentation [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 2(2A): 76-81.
- [2] 刘子腾,白瑞林,王秀平. 基于激光视觉的角焊缝图像特征点提取[J]. 焊接学报, 2016, 37(2): 89-93.  
Liu Ziteng, Bai Ruilin, Wang Xiuping. Image feature extraction of fillet weld based on laser vision[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2016, 37(2): 89-93.

- [3] Chen Y, Deng C X, Chen X X. An improved canny edge detection algorithm [J]. International Journal of Hybrid Information Technology, 2015, 8(10): 359-370.
- [4] Zhang X L, Li X F, Feng Y C. A medical image segmentation algorithm based on bi-directional region growing [J]. Optik, 2015, 126(20): 2398-2404.
- [5] Saha S, Maulik U. A new line symmetry distance based automatic clustering technique: Application to image segmentation [J]. International Journal of Imaging Systems and Technology. 2011, 21(1): 86-100.
- [6] 高 飞,王克鸿,梁永顺,等. 一种多尺度分形的弧焊熔池图像分割方法[J]. 焊接学报, 2011, 32(11): 33-36.  
Gao Fei, Wang Kehong, Liang Yongshun, et al. A multi-scale fractal image segmentation method for arc welding pool [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2011, 32(11): 33-36.
- [7] 佟 彤,蔡 艳,孙大为,等. 基于有监督过渡区的焊缝 X 射线图像分割[J]. 焊接学报, 2014, 35(3): 101-104.  
Tong Dan, Cai Yan, Sun Dawei, et al. Segmentation of weld seam in X-ray images based on supervised transition region extraction [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2014, 35(3): 101-104.
- [8] 郭建星,刘松林. 一种改进的基于最大类间方差的图像分割方法[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(8): 665-666.  
Guo Jianxin, Liu Songlin. An improved image segmentation algorithm based on the Otsu method [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(8): 665-666.
- [9] 褚巧龙. 基于 Otsu 的图像阈值分割算法的研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2011.
- [10] 付忠良. 图像阈值选取方法的构造[J]. 中国图像图形学报, 2000, 5(6): 466-469.  
Fu Zhongliang. The making of method for image threshold selection [J]. Journal of Image and Graphics, 2000, 5(6): 466-469.
- [11] 蔡梅艳,吴庆宪,姜长生. 改进 Otsu 法的目标图像分割[J]. 电光与控制, 2007, 14(6): 118-119.  
Cai Meiyang, Wu Qingxian, Jiang Changsheng. Target image segmentation based on modified Otsu algorithm [J]. Electronics Optics & Control, 2007, 14(6): 118-119.
- [12] 韩青松,贾振红,杨 杰. 基于改进的 Otsu 算法的遥感图像阈值分割[J]. 激光杂志, 2010, 31(6): 33-34.  
Han Qingsong, Jia Zhenhong, Yang Jie. Remote sensing image thresholding segmentation based on the modified Otsu algorithm [J]. Laser Journal, 2010, 31(6): 33-34.

**作者简介:** 齐继阳,男,1969 年出生,博士,副教授. 主要从事机器视觉研究,发表论文 40 余篇. Email: jyq@just.edu.cn