

# 改进的交互式 Otsu 红外图像分割算法

陈 飞

(商丘职业技术学院 基础部, 河南 商丘 476000)

**摘要:** 为提高红外图像中目标分割的精度和抗噪性能, 提出了一种改进的交互式 Otsu 图像分割算法; 采用图像信息熵特征和类间方差特征对经典 Otsu 算法的阈值判别函数进行改进, 获得的最优阈值能较好地将目标从背景中分割出来, 且具有良好的边缘保持效果, 提高了算法的分割精度; 同时, 针对红外图像目标单一的特点, 采用交互式粗分割的思路, 先在红外图像中提取包含目标的局部封闭区域, 进而在提取的区域内进行改进的 Otsu 分割; 通过对红外图像激光光斑目标提取过程的实验结果表明: 改进的 Otsu 分割算法大大降低了背景噪声对分割算法的影响, 提高了抗噪性能与分割精度, 且最大程度地减少分割算法的运算量, 并较好地保持了目标模糊边缘, 分割效果优于传统的 Otsu 算法和相关的改进 Otsu 算法。

**关键词:** 红外图像分割; Otsu 准则; 交互式; 熵特征; 类间方差

## An Improved Interactive Otsu Infrared Image Segmentation Algorithm

Chen Fei

(Department of Basic, Shangqiu Polytechnic, Shangqiu 476000, China)

**Abstract:** To improve the precision and anti-noise performance of infrared image segmentation, an improved and interactive Otsu image segmentation algorithm is proposed. The characteristics of entropy and class variance of images are used to improve the threshold discriminant function of the classical Otsu algorithm that obtains the optimal threshold. The optimal threshold can segment the target from the background and has a good edge retention effect, which improves the segmentation accuracy of Otsu algorithm. Meanwhile, for the feature of single target in infrared image, the idea of interactive rough split is used before segmenting the image. The partial closure of the area containing the target is extracted firstly in the infrared image, and then in the extracted region. The experimental results for the extraction of laser spot target in infrared image show that the improved Otsu segmentation algorithm greatly reduces the impact of the background noise on the segmentation algorithm, also improves the anti-noise performance and segmentation accuracy of the traditional Otsu algorithm and minimizes the computation of the segmentation algorithm, maintaining the target fuzzy edge. The segmentation performance is better than the traditional Otsu segmentation and several related improved Otsu algorithms.

**Keywords:** infrared image segmentation; Otsu criterion; interactive; entropy feature; interclass variance

## 0 引言

红外图像分割是目标检测、识别和跟踪等技术的前提, 目的是将图像中关键有用的目标信息从背景中分离出来。由于在成像过程中受温度、气流、噪声和辐射等各种因素的影响, 红外图像普遍具有低对比度和高噪声的特点, 从而给目标的提取工作带来了很大的难度, 是图像领域专家学者研究的热点问题<sup>[1-2]</sup>。目前虽存在众多流派的图像分割算法, 但由于图像的多样性和分割问题的复杂性, 并没有通用的图像分割方法。文献 [3] 提出的最大类间方差 (Otsu) 法因其快速性、自适应性和良好的分割性而得到了广泛的研究和推广, 但经典的 Otsu 算法只考虑了图像像素的灰度信息, 很容易受到噪声的影响, 效果不是很理想; 文献 [4] 结合邻域信息设计了改进的 Otsu 算法, 但是对

于噪声强的图像分割效果依然很差; 文献 [5] 引入了类的概念, 在充分考虑目标和背景二者之间分离性和各自类中的内聚性后, 改进阈值判别函数, 使得分割精度得到了一定的提高; 文献 [6] 在经典 Otsu 准则的基础上, 结合图像熵提出了一种改进的局部递归的阈值选取分割算法, 使得分割后的图像细节更加丰富, 但该算法对噪声很强的图像分割效果依然不理想。为了克服经典 Otsu 方法受噪声影响大的缺点, 很多学者将经典 Otsu 法从单阈值推广到多阈值, 从一维 Otsu 法推广到多维。但是随着维数的推广, 虽然算法的性能有了很大的提高, 但运算量却成倍的增加, 仍然不适宜处理实时图像序列<sup>[7-9]</sup>。为了获得更高的分割精度, 同时最大程度地降低分割算法的运算量。为此, 提出了一种交互式的改进的 Otsu 分割算法, 首先采用交互式预处理的方式, 大致勾画出目标区域, 并将区域外部的图像全部视为背景, 进而对区域内的图像采用改进的 Otsu 算法进行分割, 进一步提高了算法的分割精度。通过对大量红外图像分割实验验证表明, 改进算法对红外图像的抗噪性能好, 分割精度明显优于经典 Otsu 算法及其它几种相关的

收稿日期: 2020-05-27; 修回日期: 2020-06-22。

基金项目: 河南省软科学计划项目 (172400410563); 河南省高等教育教学改革研究与实践项目 (2019SJGLX739)。

作者简介: 陈 飞 (1988-), 男, 河南商丘人, 讲师, 硕士, 主要从事应用数学及智能算法方向的研究。

Otsu 改进算法。

## 1 Otsu 图像分割算法

经典 Otsu 算法核心思想是根据图像的灰度特征把图像分为目标和背景两部分,然后通过类间方差的值来评价两者的差别程度<sup>[10]</sup>。因此,只要选择一个最佳阈值使得类间方差最大即可。具体的数学描述过程如下:假设一幅灰度级为  $L$  的图像,其中灰度为  $i$  的像素个数为  $N_i$ ,总像素个数为  $N$ ,灰度为  $i$  的像素个数所占的比例为  $P_i$ ,图像的平均强度为  $M$ ,那么:

$$\begin{cases} N = \sum_{i=0}^L N_i \\ P_i = \frac{N_i}{N} \\ M = \sum_{i=0}^L i \times P_i \end{cases} \quad (1)$$

假设阈值  $t$  将图像分为两类:  $S_0$  和  $S_1$ ,那么这两类出现的概率分别为:

$$\begin{cases} W_0 = \sum_{i=0}^t P_i \\ W_1 = \sum_{i=t+1}^L P_i = 1 - W_0 \end{cases} \quad (2)$$

两类的均值分别为:

$$\begin{cases} M_0 = \sum_{i=0}^t i \times \frac{P_i}{W_0} \\ M_1 = \sum_{i=t+1}^L i \times \frac{P_i}{W_1} \end{cases} \quad (3)$$

类间方差定义为:

$$\sigma^2 = W_0 \times (M_0 - M)^2 + W_1 \times (M_1 - M)^2 = W_0 W_1 (M_0 - M_1)^2 \quad (4)$$

令  $t$  从  $0 \sim L$  变化,计算不同  $t$  值下的类间方差  $\sigma^2$ ,使  $\sigma^2$  最大的  $t$  值就是所求的最优阈值,对  $t$  的描述为:

$$t = \text{Argmax}\{\sigma^2(t)\} \quad (5)$$

由式 (5) 可知:图像中两部分灰度值的方差越大,图像灰度值分布的均匀性越差,说明构成图像的两部分差别越大,分割误差越小。

## 2 改进的 Otsu 图像分割算法

由于经典 Otsu 图像分割算法是用图像的灰度均值特征来描述目标和背景的差异性,对于目标和背景灰度特性区分明显的图像有较好的分割效果。但由于上述方法仅利用了一维灰度信息,当图像的信噪比较低时,很容易受噪声的影响而降低图像的分割效果。事实上,图像的特征还可以用信息熵、信噪比和邻域均值等参数来描述。目前,对经典 Otsu 算法的改进大多是在改变或增加图像特征的基础上通过改进阈值判别函数实现的。在经典 Otsu 准则下,用信息熵取代灰度均值修改了阈值判别函数,使得改进后的算法不受灰度值的线性变化和平移变化的影响;而本文在

经典的 Otsu 方法的基础上,针对红外图像的特点,结合类间方差和信息熵这两个图像特征,改进了 Otsu 阈值判别函数,提出了新的阈值分割方法。

采用香农公式中熵的定义<sup>[11-12]</sup>,假设整个图像、目标和背景的信息熵分别为  $H_0$ 、 $H_A$  和  $H_B$ ,分割阈值为  $t$ ,则:

$$\begin{cases} H_0 = - \sum_{i=0}^{255} p_i \log p_i \\ H_A = - \sum_{i=0}^t p_i \log p_i \\ H_B = - \sum_{i=t+1}^{255} p_i \log p_i \end{cases} \quad (6)$$

将 Otsu 准则推广,得到了推广形式的阈值判别函数,如式 (7) 所示:

$$t^* = \text{argmax} \left[ \frac{(F_A - F_0)^2 \cdot (F_B - F_0)^2}{((F_A - F_0)^2 + (F_B - F_0)^2)^2} \right] \quad (7)$$

其中:  $F_0$ ,  $F_A$  与  $F_B$  分别为整个图像、背景与目标的某一特征。当利用信息熵代替平均灰度时,式 (7) 就为基于信息熵的阈值分割准则。由于信息熵可以表征图像灰度的分布情况,将其替换 Otsu 准则中的灰度均值能够避免对比度和亮度等信息对算法的约束,更能突出算法的适应性。

由于红外图像是一类特殊的图像,从红外图像的灰度直方图中可以看出,背景像素总数所占的比例很大,而目标像素总数所占比例很小,使得目标和背景的分布极不平衡。另一方面,受噪声的影响,红外图像的边缘非常模糊。而经典 Otsu 法得到的阈值往往偏大,模糊边缘全部被误分成背景,就会导致提取出的目标信息缺失;而基于信息熵的阈值分割准则算法得到的阈值偏小,很多背景和噪声被误分为目标,同样使得提取出的目标信息不够准确,这些情况往往会给目标检测和识别的准确率带来极大的影响。针对此类问题,本文将图像平均灰度和信息熵结合考虑,在式 (7) 所示的 Otsu 推广形式的基础上,加以改进。引入图像平均灰度值信息,使得最优阈值  $t$  能够通过均衡平均灰度和信息熵来获得。改进方法如下:将式 (7) 中分母中的特征  $F$  设定为平均强度,而将分子中的特征设定为信息熵,由此可将式 (7) 写成如下形式:

$$t^* = \text{argmax} \left[ \frac{(M_0 - M)^2 \cdot (M_1 - M)^2}{((F_A - F_0)^2 + (F_B - F_0)^2)^2} \right] \quad (8)$$

由式 (8) 可看出,改进方法获得的最优阈值较好地目标从背景中分割出来,同时保留了良好的边缘效果。

## 3 交互式图像分割预处理方法

虽然改进之后的算法能够在红外图像的分割中取得了较好的效果,但仍然受红外图像中边缘强噪声的影响,而红外图像的特点是噪声比较多,因此必须提高算法的抗噪性能<sup>[13-14]</sup>。由于对于单一目标而言,如果对图像局部采用 Otsu 分割方法,即只对包含目标的局部相关区域进行 Otsu 分割,从理论上讲,会比对整个图像使用 Otsu 分割的效果

要好。因为在局部区域对目标分割结果受背景噪声的影响更小，同时目标分割的复杂性也大大降低。本文提出的对图像局部区域使用的改进的 Otsu 分割算法的实现有赖于交互式图像分割与处理技术。

在对红外图像分割的实验中发现，红外图像的边缘噪声最强，边缘像素的灰度值与目标模糊边缘甚至目标内部灰度值的大小几乎相同，因此，经典 Otsu 法及其改进算法很容易将这部分边缘噪声当作目标分割出来，或者将目标模糊边缘甚至其内部当作背景处理。为了能够减少边缘强噪声对分割算法的影响，提出了一种交互式的图像分割预处理方法。即在对图像分割前先勾画出包括目标区域，而不包括强噪声边缘的一部分封闭区域，进而只对含有目标的封闭区域作下一步处理，就可以消除边缘强噪声对后续智能算法的影响。勾画封闭域主要是去除大部分背景以及边缘强噪声，同时对封闭区域外一律视作背景处理。本文引入的交互式图像分割预处理方法属于一种简易的粗分割。通过引入这种交互式交互式粗分割，不仅可以很大程度地减少背景和噪声，提高了 Otsu 及其改进算法的抗噪性能，而且还有效降低了运算量，增加了处理的时效性。同时，这种粗分割使得分割的目标性极强，当图像中出现多个类似目标时，一般的智能算法是不可能将所需要的单个目标分割出来的，这时就体现出交互式分割极其重要的作用。这种交互式粗分割对图像没有严格的要求，可以和分割算法结合，从而弥补了单一智能分割算法的缺陷。

## 4 实验结果与分析

为了验证本文所提出的改进 Otsu 分割算法对红外图像分割性能，选取一幅红外图像作为实验对象，如图 1 所示，实验中采用不同的算法对图像中的激光光斑目标进行分割。

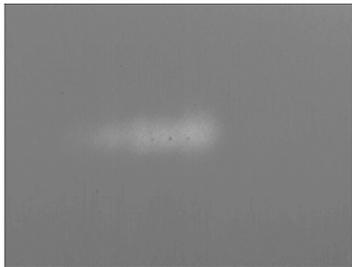


图 1 原始红外图像

### 4.1 改进的基于全局图像的 Otsu 算法

对图 1 中的原始红外图像直接使用经典 Otsu 算法、文献 [5] 中结合类的内聚性的 Otsu 法、文献 [6] 中基于 Otsu 准则及图像熵的阈值分割算法以及本文提出的改进方法进行分割，得到的实验结果分分别如图 2 (a) ~ (d) 所示。

由图 2 的分割实验结果可以看出，经典 Otsu 算法得到的分割阈值往往偏大，使得分割后的图像没有模糊边缘，

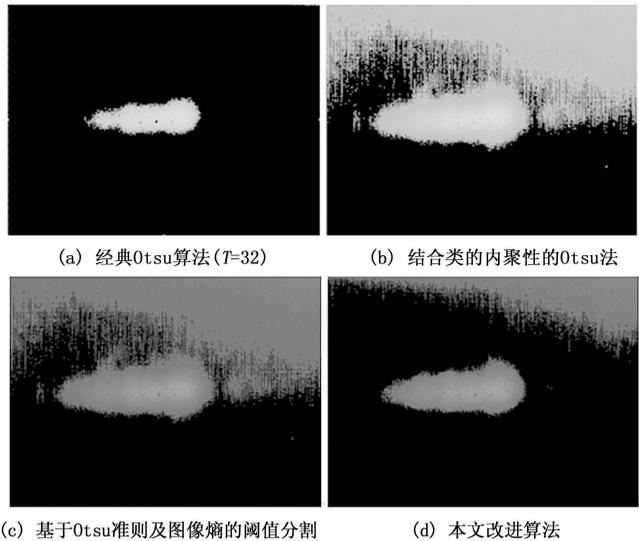


图 2 分割实验结果

因此分割效果并不理想；结合类的内聚性的 Otsu 法和基于 Otsu 准则及图像熵的阈值分割算法得到的阈值往往偏小，从而把部分背景和噪声当作目标处理了，使得目标的边缘较模糊，显然是受到了明显的噪声影响，很难将目标准确地分离。而本文提出的改进 Otsu 算法充分研究了目标与背景平均灰度值及分布的两种信息差异，因而得到的阈值能够较好的保持目标模糊边缘，同时对噪声也有一定的抑制作用，分割效果优于上述集种算法。

### 4.2 改进的交互式 Otsu 算法对比实验

本文改进算法虽然使模糊边缘保留了，但边缘强噪声也被视为目标而分割出来，因而分割结果仍然具有一定的误差。为了以进一步降低背景噪声对分割算法的影响，采用本文提出的交互式粗分割方法对图像进行预处理，并观察实际的效果，来验证方法的有效性和优越性。

对图像采用交互式粗分割后，再利用上述 4 种算法对局部区域分割。图 3 (a) 为待分割的原始红外图像；图 3 (b) 为采用本文交互式粗分割预处理后得到的图像；图 3 (c) ~ (f) 分别为在图 3 (b) 的基础上，利用 4 种算法得到的分割结果。

对比图 2 (a) ~ (d) 与图 3 (c) ~ (f) 的分割结果可以看出，基于全局图像的结合类的内聚性的 Otsu 法和基于 Otsu 准则及图像熵的阈值分割算法受噪声影响非常明显，而使用本文的粗分割预处理后，分割结果中抗噪性能大幅度提高，对于本文改进算法也是如此。因此，采用交互式预处理能够很大程度地抑制噪声，从而使得相应的 Otsu 算法的性能都有大幅度提升。在交互式预处理后，本文改进的 Otsu 算法的分割结果对目标模糊边缘保持效果仍然最好，分割精度最高，优于其它几种分割方法。更为重要的是，对于图 2 (b) 和图 2 (d) 中与目标未完全分割开的灰色背景，加入交互式粗分割方法后，采用本文改进

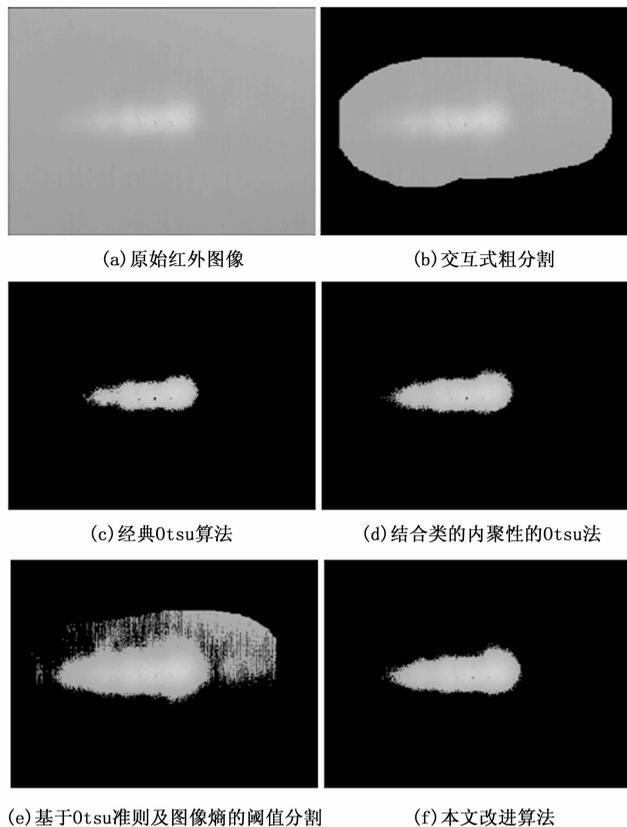


图3 实验结果

算法与结合类的内聚性的 Otsu 法就可以将目标准确提取出来。另外,由原始红外图像可以看出,图像的背景可分为两部分:一部分是图像两侧的黑色部分,另一部分是淹没目标的中间灰色部分。从像素灰度值来看,目标与中间灰色背景灰度的相差无几,而与两侧黑色背景的灰度相差较大。经典 Otsu 法及其改进算法最终是为了得到两个差异最大的部分,很明显,两侧黑色背景与中间灰色背景的差异性最大,故使用经典 Otsu 法及其改进算法得到的阈值偏小,实际上只是将两侧黑色背景与中间灰色背景和目标分割开来,而中间灰色背景和目标由于被分割为一个整体,因此目标并没有被单独分割出来。通过实验可以说明,当使用交互式粗分割后,图像两侧黑色背景被划分到区域外,区域内由于只包括目标和灰色背景,从而将目标区域突显出来,在此基础上再使用 Otsu 法及其改进算法就将目标区域完整地分割出来,明显优于直接使用 Otsu 及其改进算法的分割结果,从而突出了本文方法的有效性和优越性。

## 5 结束语

针对红外图像对比度低和噪声比较严重的特点,在经典 Otsu 算法的基础上提出了一种交互式的改进的 Otsu 分割算法。通过联合引入图像目标与背景的平均灰度值差异

与灰度值分布差异两种信息,改进了推广的 Otsu 的阈值判别函数,使得求取的阈值对目标与背景的区别误差更小,分割精度更高;同时,通过引入交互式粗分割的预处理方式,提升了 Otsu 分割算法的精确度和抗噪性能,也大大降低了分割算法的运算量,提高了处理的实时性。将改进的 Otsu 分割算法用于红外图像中激光光斑目标的提取过程中,实验结果表明:改进算法的分割效果优于经典 Otsu 法以及相关的几种改进算法,能够更加准确提取出目标信息,可为红外图像中的目标检测和识别提供了有力的技术保障。

## 参考文献:

- [1] 孙劲光,赵欣.一种改进近邻传播聚类的图像分割算法[J].计算机工程与应用,2017,53(6):178-182.
- [2] 洪向共,周世芬.基于改进模糊C均值聚类的光伏面板红外图像分割[J].计算机系统应用,2019,28(5):35-41.
- [3] AlSaeed D H, Bouridane A, Elzaart A, et al. Two modified Otsu image segmentation methods based on Lognormal and Gamma distribution mode[J]. Information Technology and e-Services, 2012, 25(3): 1-5.
- [4] 彭启伟,罗旺,冯敏,等.改进二维Otsu法和果蝇算法结合的图像分割方法[J].计算机应用,2017,37(2):193-197.
- [5] 倪伟传,许志明,刘少江,等.复杂环境下的自适应红外目标分割算法[J].红外技术,2019,41(4):357-363.
- [6] 延海,潘晨,吴楠.改进的Otsu递归分割单幅图像去雾算法研究[J].西安科技大学学报,2017,37(3):438-444.
- [7] 毛肖,和丽芳,王庆平.基于改进萤火虫优化算法的多阈值彩色图像分割[J].计算机科学,2017,44(z1):206-211.
- [8] 谭小刚,张洪伟.基于小尺度形变维数的裂缝图像分割方法[J].公路交通科技,2018,35(5):34-39.
- [9] 陈亚如,张雪峰.基于非规则二值化的伪随机序列生成方法[J].计算机应用研究,2018,35(2):542-547.
- [10] 吴军,王龙.基于双鸟群混沌优化的otsu图像分割算法[J].微电子学与计算机,2018,35(12):119-124.
- [11] 吴俊辉,汪烈军,秦继伟.基于改进的FA优化二维Otsu图像分割算法[J].新疆大学学报(自然科学版),2018,35(1):60-65.
- [12] 吕福起,李霄民.基于粒子群优化算法和模糊熵的多级阈值图像分割算法[J].计算机应用研究,2019,36(9):2856-2860.
- [13] 净亮,邵党国,相艳,等.基于支持向量机的自适应均值滤波超声图像降噪[J].电子测量与仪器学报,2020,34(3):1-8.
- [14] 马鹏,王小鹏,张永芳,等.基于多尺度自适应均衡的遥感图像边缘检测方法[J].传感器与微系统,2018,37(10):147-149.