

红外目标分割方法研究*

侯旺, 钟立军, 张小虎, 雷志辉, 杨夏

(国防科技大学 航天科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘要: 红外目标分割算法对红外目标检测、跟踪具有非常重要的价值。本文利用背景和目标灰度特征, 提出一种实现红外目标有效分割的方法, 克服红外目标内部温度不稳定造成的误分割问题。本文方法首先采用基于灰度-显著度最大相关准则的二维直方图分割算法进行图像分割; 然后, 在分割后二值图上进行基于随机种子点选取的区域增长, 提取背景; 最后, 采用形态学方法优化分割结果。相对传统的红外目标检测算法, 这种算法具有更好的抗干扰能力, 更强的鲁棒性。不仅可以应用于红外图像的目标分割, 而且可以应用于其他类似的目标分割问题。

关键词: 红外目标分割; 二维直方图分割; 改进区域增长; 形态学运算; 灰度-显著度最大相关准则

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-2486(2013)02-0173-06

Research on infrared target segmentation

HOU Wang, ZHONG Lijun, ZHANG Xiaohu, LEI Zhihui, YANG Xia

(College of Aerospace Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Infrared target segmentation is very valuable to infrared target detection and tracking. The research proposes an effective infrared target segmentation based on background and target gray character. The method avoids gray instability in the interior of the targets caused by temperature instability. Firstly, two-dimensional MCC based on gray-saliency was proposed to segment targets. Then, improved region-growing algorithm based on random seed points was presented to extract background. Finally, morphological operation improved the segmentation performance. Compared with the traditional algorithms of target segmentation, this algorithm has better anti-jamming and robust. The method can be used not only for target segmentation but also for other similar segmentation.

Key words: infrared target segmentation; two-dimensional histogram segmentation; improved region-growing algorithm; morphological operation; MCC based on gray-saliency

将图像分割为内部特征或属性相似的若干区域, 同时这些区域之间存在显著差异的技术称为图像分割。图像分割效果直接影响后续图像的分析 and 理解。

图像分割算法在红外目标检测方面具有重要作用。在红外成像系统中, 进行目标自动检测具有智能化程度高、被动隐蔽、作用距离远等优点, 已经成为国内外研究热点。但是在红外传感器下检测运动目标时, 当探测器距离目标较远, 目标在图像上只占很小的面积, 目标较难从背景中分割出来。分割结果对探测器性能有较大影响^[1-2]。因此, 适应性、稳定性、鲁棒性较好的红外弱目标分割算法研究具有重要意义。

常用的图像分割技术可以分为基于阈值的分割方法、基于区域的分割方法、基于边界的分割方法及后两者相结合的方法。第一类方法基于图像

的灰度特征来计算一个或多个灰度阈值, 并将图像中每个像素的灰度值与阈值进行比较, 最后将像素根据比较结果分到合适的类别中。第二类方法对图像中每个像点提取特征, 将特征相似的像点连成区域; 第三类方法对图像上特征变化的点进行检测, 将这些像素点连接成边界, 从而划分区域; 第四类方法将图像上相似特征的点连接成区域, 特征变化的点连成边界^[3-4]。任何一种图像分割算法都有其局限^[5], 目前还尚未有适应所有条件的图像分割算法^[6-7]。

第一类方法中最常用的方法为基于灰度直方图分割的方法。其中基于一维灰度直方图的算法种类很多, 它的准则有: 最大类间方差准则^[8]、最大熵分割准则^[9-11]、最小误判概率分割准则^[12]等。在图像较复杂的条件下, 基于二维灰度直方图的方法效果更好, 这种方法不仅利用像素点灰

* 收稿日期: 2012-09-12

基金项目: 国家部委资助项目(2013CB733100)

作者简介: 侯旺(1986—), 男, 山西太原人, 博士研究生, E-mail: Simon_Zero@126.com;

雷志辉(通信作者), 男, 副教授, 硕士, E-mail: jmgc108@vip.163.com

度总体分布情况,而且还利用了邻域灰度或梯度信息。因此,比起一维直方图,二维直方图能更清晰地反映图像的灰度聚类分布情况,有较好的抗噪能力。Abutaleb^[13]提出一种基于二维最大熵方法的图像分割算法,得到较佳的分割效果。但这种方法复杂度高,运算量大^[14],为减少计算的复杂性,最大相关准则^[15]被提出,这种方法将图像中目标和背景相关总量设为目标函数,使其最大,以选择阈值。另外,Cheng 等结合最大熵原则及模糊测度的概念,提出模糊 C 分类最大熵方法^[16]。Pikaz^[17]提出了一种基于拓扑原理的图像分割方法,通过使用不同阈值得到分割目标的不同拓扑状态,观察其稳定性,得到分割阈值。

第二类方法中基于区域增长^[18-19]的方法是一种较普遍、效果较好的图像分割算法,它的基本思想是将具有相似性质的连通的像素集合起来构成区域。需要首先对每个待分割区域找一个种子像素作为生长的起点,然后将种子点周围邻域中与它有相同或相似性质的像素点合并到种子像素所在的区域中,以此类推,直至生长完成。区域增长法有三个要素:种子像素选择、区域增长准则、生长停止条件。这种技术在图像分割中的应用很广,是一种适应性较强的分割算法。

本文提出一种新的红外目标分割算法,第一步为基于灰度-显著度的最大相关准则的二维直方图分割,第二步为区域增长算法,将背景提取出来,第三步为形态学算法,消除噪声点,填充目标内部空隙。外场实验结果表明,这种方法可以有效、快速地进行红外目标的分割。

1 算法流程

本文算法的基本流程如图 1 所示,总共分三步,第一步为基于灰度-显著度的二维直方图分割算法,第二步为区域增长,第三步为形态学运算。

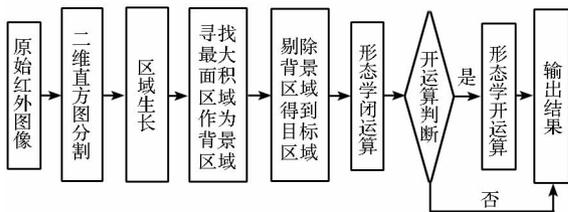


图 1 本文算法流程图

Fig. 1 The flow chart of algorithm proposed in this paper

1.1 基于灰度-显著度的最大相关准则二维直方图分割阶段

二维直方图背景提取方法是一维直方图方法的推广。由于一维直方图统计只反映了全图灰度

总体分布情况,而没有反映不同灰度的邻域空间分布情况,因此,还需要构建新的统计量,更加准确地反映图像上不同区域的分布,二维直方图统计量应运而生。图 2 表示图像二维直方图分割示意图。其中 X 为图像灰度级, Y 为图像领域统计值。采用分割值 S 和 t , 将二维直方图分割为 A 、 B 、 C 、 D 四块。搜索最优分割值 S 和 t , 使 A 、 B 、 C 、 D 四块区域差异最大。这个过程称为二维直方图分割。

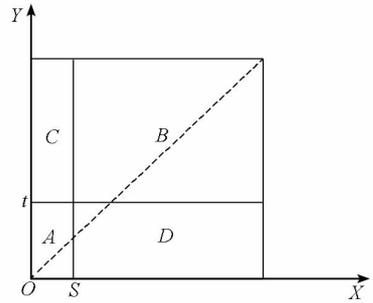
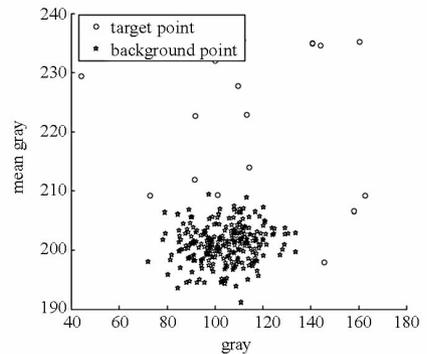


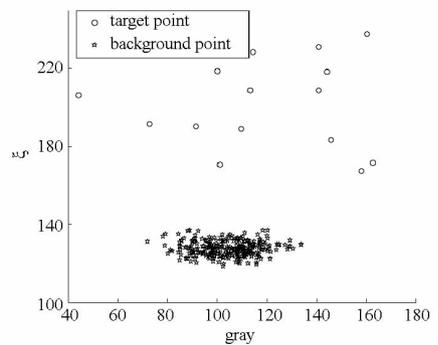
图 2 二维直方图分割示意图

Fig. 2 The sketch map of two dimensional histogram segmentation

传统的二维直方图统计量有灰度-平均灰度二维直方图,灰度-梯度二维直方图。对红外平坦背景而言,纹理信息较少,使用灰度-平均灰度方法较合适。但这种方法在目标边缘处会同背景区域混合在一起,不易分割。如图 3(a) 所示,五角星符号代表背景点,而圆圈符号代表目标点,可以看出目标点和背景点混合在一起,很难分离。



(a) 灰度-平均灰度二维灰度直方图



(b) 灰度- ξ 二维灰度直方图

图 3 二维直方图对比示意图

Fig. 3 The sketch map of two dimensional histogram contrast

为克服这个困难,构造基于分块策略的平均灰度选取方法。具体方式如下:制作二维直方图时,对图像上每个像素点进行循环,设其中任意一个像素点为 P ,在 P 点的邻域,如图 4 所示,分为四块,将其分别命名为 Block1、Block2、Block3、Block4。

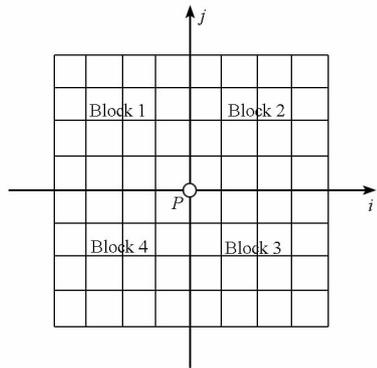


图 4 分块策略计算 ξ 示意图

Fig. 4 The sketch map of ξ calculation using block strategy

设 P 点的灰度值为 G_p ,若使用平均灰度方法,平均灰度 $\overline{G_p}$ 计算使用式(1),其中 H 、 W 分别为块长和宽, B_p 表示 P 点邻域块的灰度函数, B_{1P} 、 B_{2P} 、 B_{3P} 、 B_{4P} 分别表示第 1 至 4 块的灰度函数:

$$\begin{aligned} \overline{G_p} &= (\sum_j \sum_i B_p) / (HW) \\ &= \sum_j \sum_i (B_{1P} + B_{2P} + B_{3P} + B_{4P}) / (HW) \end{aligned} \quad (1)$$

为区分边缘点和背景点,分别计算四块区域的均值和方差,将其均值分别与 P 点的灰度值比较,取最接近的块(设为第 k 块)作为用于估计的块,定义显著度函数 ξ 如下,其中 m_k 、 σ_k 分别为第 k 块的平均灰度及标准差:

$$\xi = m_k + 3\sigma_k \quad (2)$$

使用这种定义方法,可以使用点 P 周围四块中最接近它的块最为其估计,背景的方差较小,目标的方差较大,可以将其上限使用 3σ 准则进行估计,以进一步拉开背景和目标的显著度差别。对比图 3(a) 和(b) 可知,使用这种方法可以在二维直方图上有效拉开目标点和背景点的距离,以利于背景和目标的分割。

具体的分割算法采用陈修桥^[20] 等提出的基于二维最大相关准则的图像阈值分割算法。准则函数:

$$Tc(s,t) = -\ln[G_A(G_L - G_A)] + 2\ln[P_A(1 - P_A)] \quad (3)$$

选取的最佳分割阈值满足:

$$(s^*, t^*) = \text{Arg} \{ \text{Max}_{0 \leq s, t \leq L} [Tc(s,t)] \} \quad (4)$$

1.2 区域增长阶段

红外图像灰度分布示意图如图 5 所示,由观察可知,目标内部灰度抖动较剧烈,而外部背景噪声较小,基本平坦。由于红外图像上背景区域的温度变化不大,灰度较一致;目标边缘温度较高,灰度相应较高;目标内部温度不稳定,甚至有可能比背景温度要低。伪彩色图像如图 6 所示,更容易通过观察得出上述结论。



图 5 红外图像灰度图

Fig. 5 The gray map of the infrared image

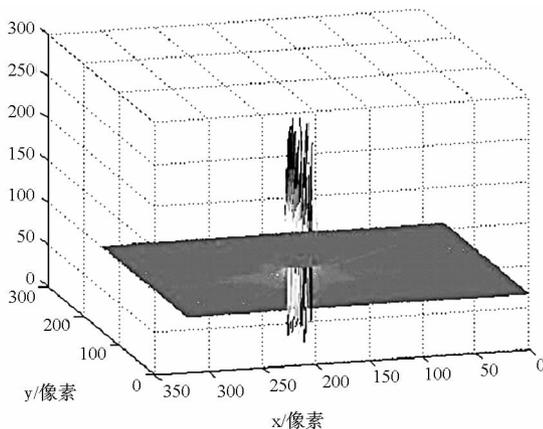


图 6 红外图像三维伪彩分布图

Fig. 6 The pseudocolor map of the infrared image

对这帧图像直接使用二维直方图分割,内部分割混乱,不能完整分割目标。本文结合区域增长算法进行目标的完全分割。区域增长算法的优点为:生长以连通域为生长条件,不会生长不连接区域。可以对目标进行完全分割。

图 7 为红外图像分割二值效果图。

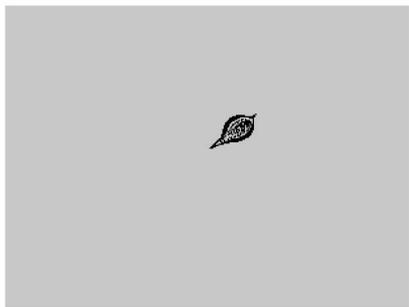


图 7 红外图像二维直方图分割效果

Fig. 7 The segmenting effect of the infrared image



图 8 红外图像区域增长图

Fig. 8 The region-growing map of the infrared image

先假设背景区域在图像上为主成分,在这个假设下,进行区域增长分割的具体过程为,在二维直方图分割的基础上,选取第一个随机种子点进行区域增长,并进行区域标记,停止后,在剩下的区域选取第二个随机种子点进行生长并标记,停止后,再选取第三个随机种子点,以此类推,直至将图像完全处理。最后将生长面积最大的区域提取出来作为背景区域,在全图上去除背景区域的部分就是目标区域。

图 8 为区域增长结果,右下角为目标放大三倍的图像。灰色区域为我们提取的目标区域,在图像中为主成分,目标内部大量不连通区域为本文算法区域增长结果。由于灰度在目标内部剧烈变化,因此算法生长出许多不连通区域。很明显,去除背景(灰色区域)的目标为完整目标。通过去除背景区域可以完整分割目标。

1.3 形态学处理阶段

在图像分割及区域增长基础上,还需要对图像进行形态学运算,本文采用形态学闭运算和开运算两种方法。它们的作用为:形态学闭运算可以平滑边界,接合断开的缺口,填充空隙,形态学开运算可以去除噪声点。如果目标较小,也有可能被开运算剔除。因此需要事先判断是否需要对该图像进行开运算。

具体计算如式(5)、(6)所示,设 f 为待处理图像, b 为结构元素, \circ 为开运算符, \bullet 为闭运算符, \ominus 为腐蚀运算符, \oplus 为膨胀运算符。

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (5)$$

$$f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b \quad (6)$$

2 实验结果与分析

图 9 所示,本文利用六组本实验室红外相机拍摄的目标爆炸图像规划外场验证实验。最左边一列为原始待分割图像,依次为 Ostu 方法、最大灰度期望方法、灰度 - 平均灰度二维直方图分割方法、本文方法分割结果。

通过对比可知,与本文算法相比, Ostu 方法对红外目标内部处理较粗糙,不能完整分割目标;最大灰度期望方法过分割严重,虚警率较大;灰度 - 平均灰度法对于目标分割效果较好,但不能完全分割目标;本文算法相比较其他几种算法,分割效果更加优秀。

表 1 为六组实验数据对比,其中分割真值为手动提取,作为参考值。对比六组实验数据,本文方法检测率在 0.80 以上,虚警率在 0.05 之下。本文算法与人工提取目标相当接近。而其他三种方法各有不足, Ostu 方法除了第一组数据外,检测率都很低;最大灰度期望方法检测率较高,但虚警率也较高,甚至达到 0.99,分割失败;灰度 - 平均灰度二维直方图分割法检测率和虚警率与本文提出的方法比较接近,但是不能满足目标完全分割的需求。

表 1 实验数据对比

Tab. 1 Contrast of experiment results

组号	每组帧数	Ostu 方法		最大灰度期望方法		灰度 - 平均灰度法		本文方法	
		检测率	虚警率	检测率	虚警率	检测率	虚警率	检测率	虚警率
I	156	1.00	0.22	1.00	0.96	0.98	0.02	1.00	0.05
II	143	0.35	0.00	1.00	0.91	0.79	0.01	0.81	0.00
III	39	0.40	0.00	1.00	0.99	0.81	0.05	0.85	0.00
IV	39	0.41	0.00	1.00	0.75	0.75	0.10	0.86	0.00
V	26	0.32	0.12	0.93	0.99	0.89	0.06	0.99	0.00
VI	33	0.50	0.00	0.93	0.75	0.91	0.04	0.98	0.00

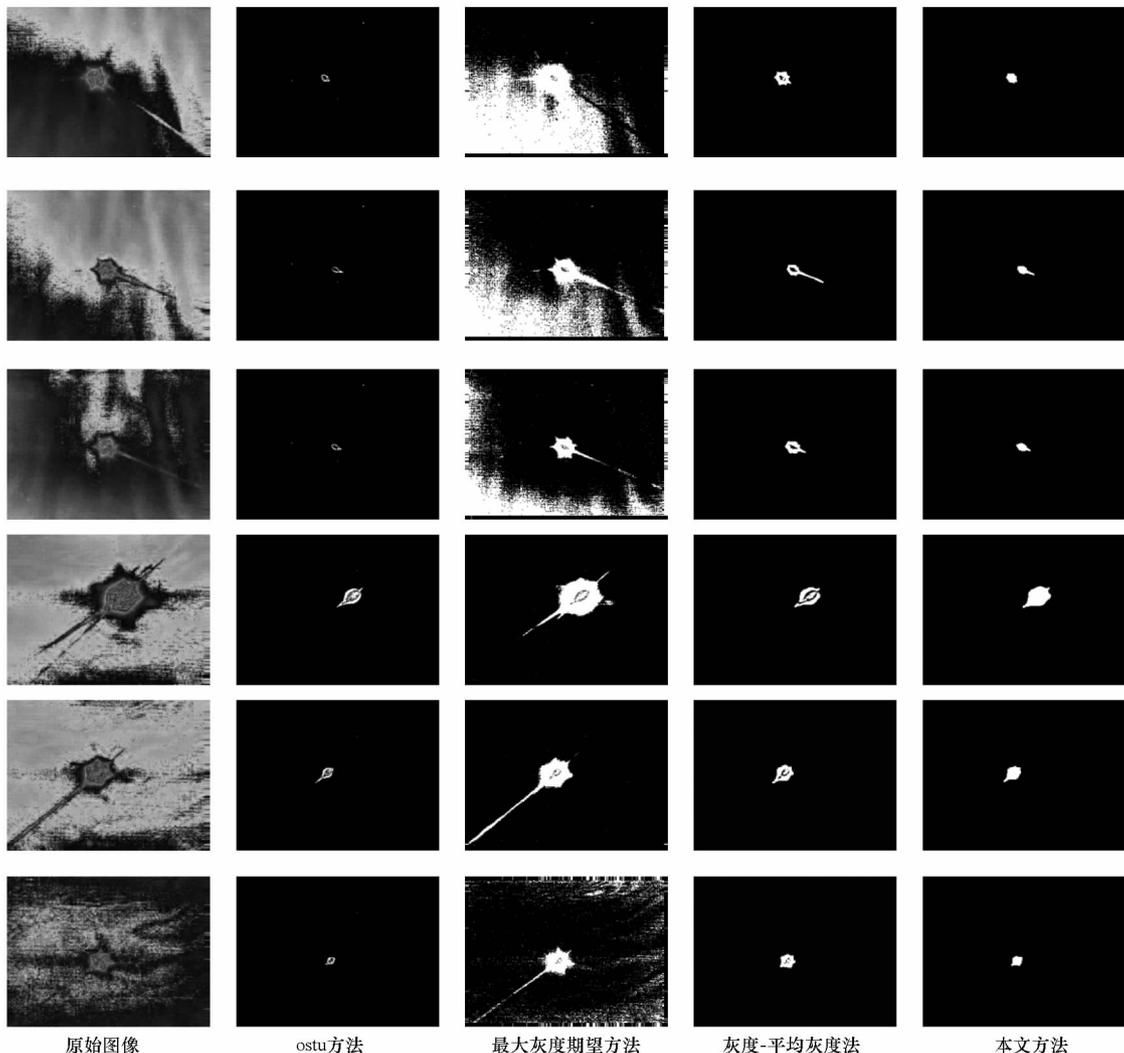


图 9 红外图像处理结果

Fig. 9 The result of infrared images processing

本文方法与其他三种方法比较,检测率较高,虚警率很低,鲁棒性比较好,很适合红外目标分割。

3 结论

本文提出了一种基于灰度-显著度的最大相关准则二维直方图分割算法,并与改进的区域增长算法相结合,从红外背景中完整提取出爆炸目标。相比于传统的目标分割算法,本文提出的方法可以较准确地分割图像。基于区域增长的算法以检测背景为目的,成功提取出完整目标,克服目标内部由温度变化引起的灰度震荡,鲁棒性较强,非常适合红外背景下的目标分割。实验结果表明,本文提出的方法优于传统一维、二维直方图分割方法。

下一步可以考虑一些更加自动化、更加鲁棒性的方法进行分割,进一步提高算法的效率与适应性。

参考文献 (References)

[1] 聂洪山,杨卫平,沈振康. 基于 Wiener 滤波的小目标检测方法[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(5): 476 - 478.
 NIE Hongshan, YANG Weiping, SHEN Zhenkang. Algorithm of small targets detection based on Wiener filter[J]. Infrared and Laser Engineering, 2003, 32 (5): 476 - 478. (in Chinese)

[2] 黄康,毛峡,梁晓庚. 红外小目标图像的背景杂波量化方法[J]. 光学学报, 2011, 31(3): 0310001.
 HUANG Kang, MAO Xia, LIANG Xiaogeng. Background clutter quantification method for infrared image of small targets [J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31 (3): 0310001. (in Chinese)

[3] 谭洪波,侯志强,刘荣. 基于人类视觉模型的区域生长图像分割[J]. 中国图像图形学报, 2010, 15(9): 1352 - 1356.
 TAN Hongbo, HOU Zhiqiang, LIU Rong. Region growing image segmentation based on human visual model[J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15 (9): 1352 - 1356. (in Chinese)

[4] 李琨,郑庆晖,廖冬学. 基于梯度特征的图像自动分割方法

- [J], 宇航学报, 2006, 27(6): 1288 - 1292.
- LI Kun, ZHENG Qinghui, LIAO Dongxue. An automatic image segmentation approach based gradient [J]. Journal of Astronautics, 2006, 27(6): 1288 - 1292. (in Chinese)
- [5] 叶齐祥, 高文, 王伟强, 等. 一种融合颜色和空间信息的彩色图像分割算法[J]. 软件学报, 2004, 15(4): 522 - 530. YE Qixiang, GAO Wen, WANG Weiqiang, et al. A color image segmentation algorithm by using color and spatial information[J]. Journal of software, 2004, 15(4): 522 - 530. (in Chinese)
- [6] 徐杰, 施鹏飞. 基于相位一致性与区域生长的自然彩色图像分割[J]. 电子学报, 2004, 32(7): 1203 - 1205. XU Jie, SHI Pengfei. Natural color image segmentation based on phase congruency and region growing[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(7): 1203 - 1205. (in Chinese)
- [7] 侯志强, 韩崇昭, 郑林, 等. 一种基于视觉模糊的边缘检测阈值选取策略[J]. 光电工程, 2004, 31(2): 51 - 62. HOU Zhiqiang, HAN Chongzhao, ZHENG Lin, et al. Threshold selection tactics for an edge detection based on vision model[J]. Opto-Electronic Engineering. 2004, 31(2): 51 - 62. (in Chinese)
- [8] Ostu N A. Threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Transaction. SMC, 1979, 9(1): 62 - 66.
- [9] Kapur J N, Salloo P K, Wong A K C. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985 (29): 273 - 285.
- [10] Johannsen G, Bille J. A threshold selection method using information measure [C]// Proceedings of 6th International Conference on Pattern Recognition, 1982(10): 140 - 143.
- [11] Li C H, Lee C K. Minimum cross entropy thresholding [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(4): 617 - 626.
- [12] Kittler J, Lingworth J. Minimum error thresholding [J]. Pattern Recognition, 1986, 19(1): 41 - 47.
- [13] Abutaleb A S. Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimension entropy [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1989(47): 22 - 32.
- [14] 张天序, 赵广州, 王飞, 等. 一种快速递归红外舰船图像分割新算法 [J]. 红外与毫米波学报, 2006, 25(4): 295 - 300. ZHANG Tianxu, ZHAO Guangzhou, WANG Fei, et al. Fast recursive algorithm for infrared ship image segmentation [J]. J. Infrared Millim. Waves, 2006, 25(4): 295 - 300. (in Chinese)
- [15] Yen J C, Chang F J, Chang S. A new criterion for automatic multilevel thresholding [J]. IEEE Transaction On Image Processing, 1995, 4(3): 370 - 378.
- [16] Cheng H D, Cheng J R. Threshold selection based on fuzzy partition entropy approach [J]. Pattern Recognition, 1998, 31(7): 857 - 870.
- [17] Pikaz. A digital image thresholding based on topological stable state [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(5): 829 - 843.
- [18] Moghaddamzadeh A, Bourbak N. A fuzzy region growing approach for segmentation of color images [J]. Pattern Recognition, 1997, 30(6): 867 - 881.
- [19] Milgram D L, Herman H. Clustering edge values for threshold selection [J]. IEEE Transaction SMC, 1981(11): 248 - 249.
- [20] 陈修桥, 胡以华, 黄友锐. 基于二维最大相关准则的图像阈值分割 [J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(5): 397 - 400. CHEN Xiuqiao, HU Yihua, HUANG Yourui. Image thresholding segmentation based on two-dimensional MCC [J]. J. Infrared Millim. Waves, 2005, 24(5): 397 - 400. (in Chinese)