

文章编号: 1672-8785(2018)10-0044-05

基于 Top-hat 变换与 OTSU 的 近岸舰船目标检测

李 强¹ 谢春思² 盖 强² 吴 帅¹

(1. 海军大连舰艇学院学员五大队, 辽宁大连 116018;

2. 海军大连舰艇学院导弹与舰炮系, 辽宁大连 116018)

摘 要: 长期以来, 雷达对近岸目标的检测是目标识别的难题。对于近岸低速舰船目标, 存在探测难、识别难的问题。然而, 舰船目标具有较好的红外辐射特征, 在探测过程中可以充分地利用这一特征。针对其红外特性提出了一种基于 Top-hat 变换与最大类间方差法的图像处理方法。经开运算重构, 利用 Top-hat 变换增强红外图像中目标与背景的对比度; 根据图像的灰度特性, 使用最大类间方差法对图像进行阈值分割, 以便检测目标。实验结果表明, 该算法能够有效地检测出近岸舰船目标, 对近岸目标识别具有一定的现实意义。

关键词: 目标检测; 阈值分割; 识别; 近岸目标

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.10.008

In-shore Ship Target Detection Based on Top-hat Transformation and OTSU

LI Qiang¹, XIE Chun-si², GAI Qiang², WU Shuai¹

(1. Cadet 5 Company, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China;

2. Department of Missile and Naval Gun, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: Radar detection of in-shore targets has been a difficult problem in target recognition for a long time. It is difficult to detect and identify in-shore low-speed ship targets. However, ship targets have better infrared radiation characteristics which can be fully utilized in the detection process. According to these characteristics, an image processing method based on Top-hat transformation and OTSU is proposed. After open-operation reconstruction, the Top-hat transformation is used to enhance the contrast between the target and the background in an infrared image. To detect targets, the threshold values of the image are segmented by OTSU according to the gray-scale characteristics of the image. The experimental results show that the algorithm can effectively detect in-shore ship targets and is of a certain practical significance to the recognition of in-shore targets.

Key words: target detection; threshold-segmented; recognition; in-shore target

收稿日期: 2018-08-29

作者简介: 李强(1994-), 男, 江西上饶人, 硕士生, 主要研究方向为舰载武器系统运用工程。

E-mail: 1970598709@qq.com

0 引言

近年来, 随着红外热成像技术的迅速发展, 红外制导系统已在各种类型(对陆、对海和对空)导弹中得到了较广泛的应用。在海天与岛礁背景条件下, 利用舰船的红外特征识别目标显得非常重要。

由于近岸舰船目标在红外图像中表现出噪声过多、背景变化不均、边缘比较模糊以及对对比不明显等特征, 难以分辨^[1], 且红外图像中的噪声均为近似高斯白噪声^[2-4], 因此对红外图像中的目标进行检测时需先进行预处理, 通过均值滤波器去除背景噪声。对经过预处理的红外图像用 Top-hat 变换去除不相干的岛礁背景, 保持其基本形状等特性^[5]。利用自适应阈值法(最大类间方差法)根据判别准则选择最优阈值, 最大化不同级别灰度级的可分性^[6]。本文通过谐波均值滤波器对红外图像进行预处理, 经开运算重构得到背景图像, 基于 Top-hat 变换与最大类间方差法分割出舰船目标, 完成对近岸舰船目标的检测。

1 舰船目标红外图像的预处理

1.1 舰船目标红外图像分析

舰船目标红外图像通常用 $f(x, y)$ 表示:

$$f(x, y) = f_T(x, y) + f_B(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

式中, $f_T(x, y)$ 表示舰船目标的灰度图像, $f_B(x, y)$ 表示背景灰度图像, $n(x, y)$ 表示噪声图像。

一般情况下, 背景灰度图像 $f_B(x, y)$ 包含天空云层背景、海面杂波背景以及近岸岛礁背景。天空云层背景变化平缓, 在空间上呈连续分布, 在红外图像中呈渐变分布, 且灰度间具有较大的相关性, 占据红外图像的中、低频段。海面杂波背景由于海面波浪的反射, 在红外图像中灰度分布不均, 接近天空灰度。近岸岛礁背景在红外图像中具有较高的辐射强度。噪声图像 $n(x, y)$ 由传感器和电路产生的噪声构成, 与响应波段中背景的红外辐射以及系统内部参数有关, 但与背景像素不相关, 占据红

外图像中的高频段, 一般情况下用均值为 0、方差为 σ^2 的高斯白噪声表示。

1.2 红外图像的预处理

由于具有抑制图像噪声、提高对比度以及优化图像边缘的能力, 空间域滤波器常用于红外图像的预处理^[7]。均值滤波器作为一种空间域滤波, 通过滤波器窗口内的像素平均灰度值代替图像中的像素值, 输出领域模板内的像素平均值。谐波均值滤波器能够有效降低高斯白噪声^[8], 故使用谐波均值滤波器对红外图像进行降噪处理。谐波均值滤波器可描述^[9]为

$$\hat{f}(x, y) = \frac{mn}{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} \frac{1}{g(s,t)}} \quad (2)$$

式中, S_{xy} 表示中心点在 (x, y) 处、大小为 $m \times n$ 的滤波器窗口; $g(s, t)$ 表示原始图像; $\hat{f}(x, y)$ 表示均值滤波后得到的图像。

通过 Matlab 调用均值滤波器函数, 使用 3×3 窗口模板的谐波均值滤波器, 对由红外热像仪探测的舰船目标红外原始图像进行处理, 如图 1 所示。经过处理后的原图图像结果如图 2 所示。

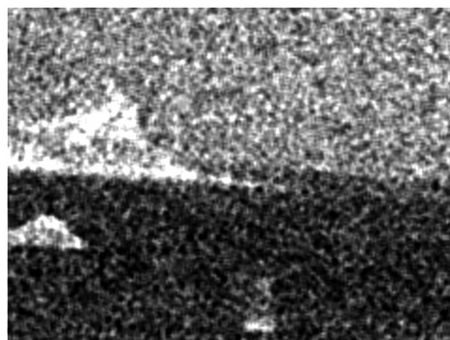


图 1 近岸舰船的原始红外图像

2 Top-hat 变换

2.1 腐蚀与膨胀

腐蚀与膨胀是数学形态学中最基本的操作^[9,10], 多数形态学算法是基于这两种操作进一步发展的。

腐蚀是对图像内部作滤波处理, 用以消除物体的边界点。此外, 腐蚀还能够缩小目标并除去小于结构元素的噪声点^[11]。灰度图中的

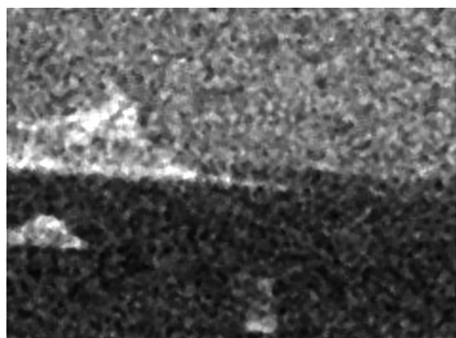


图 2 均值滤波后的图像



图 3 开运算重构后的图像

腐蚀运算为

$$(f \ominus b)(s, t) = \min\{f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x), (t+y) \in D_f; (x, y) \in D_b\} \quad (3)$$

膨胀是利用结构元素填充图像的补集。具体表现为对图像外部作滤波处理，吸纳物体周围的所有背景点，从而增大目标并填充其空洞^[11]。灰度图中的膨胀运算为

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s-x, t-y) + b(x, y) \mid (s-x), (t-y) \in D_f; (x, y) \in D_b\} \quad (4)$$

2.2 开运算与闭运算

开运算表示集合 A 先被结构元素 B 腐蚀、再被 B 膨胀的过程，用以断开狭窄的间断，消除图像中较小的噪声，保持总体的位置和形状不变，补偿不均匀的背景亮度，并平滑物体边界。开运算的表达式为

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (5)$$

闭运算表示集合 A 被结构元素 B 膨胀、再被 B 腐蚀的过程，用以弥合狭窄的间断和细长的鸿沟，填充物体中的较小的空洞，保持总体的位置和形状不变，并平滑物体边界。闭运算的表达式为

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (6)$$

通过调用 Matlab 的 `imreconstruct` 函数，对经谐波均值滤波器处理的图 2 所示的近岸舰船目标红外图像进行开运算重构，输出的图像如图 3 所示。

由图 3 可以看出，开运算重构提取出了复杂的近岸背景。

2.3 Top-hat 变换

Top-hat 变换又称顶帽变换，为组合形态学运算，由原图像与经开运算后的图像作差得出^[12]。由于原图像经开运算后放大了局部低亮度的区域，Top-hat 变换通过选择大小不同的核，重点展示出原图边缘附近较明亮的区域。对于具有大幅背景的背景，能够提取出背景。Top-hat 变换的定义为

$$g = f - (f \circ b) \quad (7)$$

式中， f 表示输入图像， b 表示结构元素， g 表示输出图像。

通过 Matlab 中 IPT 函数 `strel` 构造一个半径为 10 的平坦的圆盘型结构元素，调用 `imtophat` 函数。对经开运算重构的图 3 所示的近岸舰船目标红外图像使用 Top-hat 变换，处理后的舰船目标红外图像如图 4 所示。



图 4 经 Top-hat 变换后的图像

由图 4 可以看出，经过 Top-hat 变换后，图像的对比度增加，复杂的近岸背景被去除。

3 最大类间方差法

舰船目标红外图像经预处理后得到对比度增强的图像，再利用阈值分割来提取目标。最

大类间方差法作为一种自适应阈值计算的高效方法, 广泛应用于图像分割领域。

最大类间方差法又叫大津(Nobuyuki Otsu)法, 简称 OTSU 法。对图像 $f(x, y)$, 记目标和背景的分割阈值为 T , 目标像素点数在整幅图像中占比为 ω_0 , 其平均灰度为 μ_0 , 背景像素点在整幅图像中占比为 ω_1 , 其平均灰度为 μ_1 , 记图像总平均灰度为 μ , 类间方差为 g ^[6,13]。假设图像具有较暗的背景, 取大小为 $M \times N$ 的图像, 记图像中像素灰度值小于阈值 T 的像素个数为 N_0 , 像素灰度值大于阈值 T 的像素个数为 N_1 , 则有:

$$\omega_0 = \frac{N_0}{M \times N} \quad (8)$$

$$\omega_1 = \frac{N_1}{M \times N} \quad (9)$$

$$N_0 + N_1 = M \times N \quad (10)$$

$$\omega_0 + \omega_1 = 1 \quad (11)$$

$$\mu = \omega_0 * \mu_0 + \omega_1 * \mu_1 \quad (12)$$

$$g = \omega_0 (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu)^2 \quad (13)$$

由式(12)、式(13)得:

$$g = \omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (14)$$

通过遍历法获取使类间方差最大的阈值 T , 从而最大程度地减小错分概率。以图 4 的 Top-hat 变换后图像为待处理图像, 对其应用最大类间方差法进行阈值分割, 计算得到分割阈值为 14, 图像处理结果如图 5 所示。



图 5 OTSU 法阈值分割后的图像

4 结束语

通过谐波均值滤波器对舰船目标红外图像进行了预处理, 抑制了其中的背景高斯白噪

声。对于传统的边缘检测算法, 差分边缘检测具有方向性, 计算复杂; Roberts 算子对噪声敏感; Sobel 算子与 Prewitt 算子具有较低边缘定位精度; Laplace 算子无法对边缘进行定向; Canny 算子对细节的描述不够精准。本文通过开运算重构, 使用 Top-hat 变换去除了近岸复杂背景, 增强了目标与背景的对比度。然后使用最大类间方差法进行自适应阈值计算, 通过阈值分割检测出目标。由实验结果可知, 经 Top-hat 变换以及阈值分割处理后的舰船目标红外图像基本实现了近岸舰船目标的检测; 该计算易于实现, 对于近岸舰船目标的处理提供了不同的思路。

参考文献

- [1] 王会. 近岸舰船红外目标识别建模及其研究 [D]. 烟台: 烟台大学, 2015.
- [2] Bar-Shatom Y, Shertukde H M, Pattipati K R. Precision Target Tracking for Small Extended Objects [C]. *SPIE*, 1989: 55-63.
- [3] Chan D S K, Langan D A, Staver D A. Spatial Processing Techniques for the Detection of Small Targets in IR Clutter [C]. *SPIE*, 1990: 53-62.
- [4] Nishiguchi K, Kobayashi M, Ichikawa A. Small Target Detection from Image Sequences Using Recursive Max Filter [C]. *SPIE*, 1995: 153-165.
- [5] Soille P. 形态学图像分析原理与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [6] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-level Histogram [J]. *IEEE Trans*, 1979, **9**(1): 62-66.
- [7] 杨明, 杨羽, 张溯. 基于图像内容的中值滤波器设计及其 FPGA 实现 [J]. *中国集成电路*, 2006, **25**(1): 26-28.
- [8] 柯洪昌, 付浩海, 孔德刚. 基于改进的 Hough 变换的绝缘子检测方法 [J]. *科技创新与应用*, 2017, **31**(2): 6-9.
- [9] Rafael C G, Richard E W. 数字图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [10] 朱培逸, 刘红晴. 基于数学形态学图像分割算法在水果分级中的应用 [J]. *科学技术与工程*,

2013, **13** (34): 10375–10380.

- [11] 杨磊. 复杂背景条件下的红外小目标检测与跟踪算法研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2006.
[12] 李郁峰. 基于多尺度 top-hat 分解的红外与可

见光图像增强融合 [J]. *红外与激光工程*, 2012, **41**(10): 2824–2832.

- [13] 王青苗. 基于超像素分割的视觉显著性检测 [D]. 河北: 河北工业大学, 2015.

(上接第 15 页)

- [3] 陈路, 巫艳, 于梅芳, 等. 分子束外延 HgCdTe 表面缺陷研究 [J]. *红外与毫米波学报*, 2001, **20**(6): 406–410.

- [4] 刘铭, 周立庆, 巩锋, 等. CdTe/Si 复合衬底 Ex-situ 退火研究 [J]. *激光与红外*, 2012, **42**(8): 917–920.
[5] 杨德. *试验设计与分析* [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.

(上接第 43 页)

参考文献

- [1] 薛利红, 周鼎浩, 李颖, 等. 不同利用方式下土壤有机质和全磷的可见近红外高光谱反演 [J]. *土壤学报*, 2014, **26**(5): 993–1002.
[2] Achi H, Fouad Y, Walter C, et al. Regional Predictions of Soil Organic Carbon Content from Spectral Reflectance Measurements [J]. *Biosystems Engineering*, 2009, **104**(3): 442–446.
[3] Bowers S A, Hanks R J. Reflection of Radiant Energy from Soil [J]. *Soil Science*, 1965, **100**(3): 130–138.
[4] Dalal R C, Henry R J. Simultaneous Determination of Moisture, Organic Carbon, and Total Nitrogen by Near Infrared Reflectance Spectrophotometry [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, **50**(1): 120–123.
[5] Volkan B A, Van Es H M, Akbas F, et al. Visible-near Infrared Reflectance Spectroscopy for Assessment of Soil Properties in a Semi-arid Area of

Turkey [J]. *Journal of Arid Environments*, 2010, **74**(2): 229–238.

- [6] 徐广通, 袁洪福, 陆婉珍. 现代近红外光谱技术及应用进展 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2000, **20**(2): 134–142.
[7] 王兴旺. 合成孔径雷达干涉图相位滤波方法的研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2008.
[8] 高建波, 胡东成. 小波变换和神经网络用于红外光谱定量分析 [J]. *清华大学学报: 自然科学版*, 2001, **41**(3): 121–124.
[9] Zou H Y, Wu H L, Fu H Y, et al. Variable-weighted Least-squares Support Vector Machine for Multivariate Spectral Analysis [J]. *Talanta*, 2010, **80**(5): 1698–1701.
[10] Fang Z, Yi X J, Liu X Y, et al. Dual-band Infrared Remote Sensing System with Combined Long-wave Infrared Imaging and Mid-wave Infrared Spectral Analysis [J]. *Scientific Instruments*, 2013, **84**(8): 84–94.