

基于二维 OTSU 的海天分界线提取算法

韩嘉隆 毛征 王宁 孟博

(北京工业大学电子信息与控制工程学院 北京 100124)

摘要:海天分界线提取是海面目标检测跟踪系统中的重要环节,良好的提取结果既可以尽早地确定目标区域,也可以很大程度减少检测跟踪工作的复杂度。传统的一维 OTSU 算法在提取海天线时容易受到噪声干扰,从而影响结果的精确度,造成误检测。为解决复杂海天背景下图像噪声干扰等问题,首先通过形态学滤波器对图像数据进行降噪,之后使用二维 OTSU 算法,将图像的空间信息加入阈值判定标准,用二维矩阵来确定最终的阈值结果。对多幅可见光及红外图像数据进行实验后证明,本文方法能够有效减少复杂海天背景下的噪声干扰,完整地提取海天分界线。

关键词:图像分割;形态学滤波;OTSU 算法;海天分界线

中图分类号: TN2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Algorithm for sea-sky-line extraction based on two-dimension OTSU

Han Jialong Mao Zheng Wang Ning Meng Bo

(College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: The sea-sky-line extraction is one of the most important parts of ship detection and tracking, good extraction results can determine the target area as soon as possible, it can also be a substantial reduction in the complexity of the detection and tracking. The traditional one-dimension OTSU algorithm is susceptible to noise interference, which could affect the accuracy of the results, and cause erroneous detection. To solve the noise problem based on the complex sea-sky background, this paper chooses the morphological filter to reduce the noise first, then using two-dimension OTSU to add the spatial information of the image to threshold criteria, using a two-dimension matrix to determine the final result of the threshold. After amount of experiments on the multiple visible and infrared images, it proves that this paper's method can reduce the noise effectively, and also extract the sea-sky-line perfectly.

Keywords: image segmentation; morphology filter; OTSU; sea-sky-line

1 引言

海天分界线提取是海面舰船目标检测跟踪系统的重点部分,也是海面光电制导系统的关键点。在远距离平视的角度观察海平面,得到的光电图像基本可以分为3个部分:天空背景,海面背景,海天分界线区域。基于客观先验的知识,此时的舰船目标一定位于海天线附近。完整的提取海天分界线,不仅能够可靠的确定目标所在区域,还能够优化后续的目标检测跟踪系统,通过避免对目标进行全景搜索来达到减少计算量,保证实时性的目的。因此海天分界线的提取始终是海面目标跟踪的热点问题。

近年来,在海天分界线提取领域前人已经提出了一些研究方法。例如刘士建等人^[1]针对红外图像的特点,使用

模板运算进行图像预处理,增强海天分界线区域的梯度值,之后通过一种非线性分割的方法来获取海天分界线,该方法计算量较小,易于工程实现;安博文等人^[2]采用 Hough 变换直线检测算法完成对海天分界线的提取。通过随机点采样的方法减少 Hough 变换的计算量,并采用多线段拟合的方法将得到的曲线结果拟合成一条直线;黄英东等人^[3]将边缘检测与一维 OTSU^[4-6]算法结合,对海天图像进行阈值分割,之后再利用 Hough 变换提取海天分界线,也取得了不错的效果。

针对远距离平视的观察角度,首先通过形态学滤波对图像进行降噪处理,其次使用二维 OTSU 阈值^[7-8]分割出海面与天空背景,之后通过 Sobel 梯度算子进行边缘检测,来获取海天分界线。通过对多幅可见光及红外图像数

收稿日期:2016-03

据进行测试,本文方法对能够有效准确地检测出海天分界线的位置,并具有较强的鲁棒性。

2 海天分界线特点

海天分界线,即海面与天空相连接的部分,由于天空和海面存在较大的灰度差异,因此灰度梯度变化最大的地方就是海天分界线所在的区域。大部分情况下,海天分界线并不是一条直线,而是一条灰度变化较大的带状曲线,通过对曲线进行线性拟合等方式将其细化成一条直线。理想环境下海面与天空应分界清晰,但在实际情况中,天空中高亮的云团往往会使得海天分界线提取的结果偏向天空,海面上不稳定的杂波等噪声会使得提取后的图像存在较多的噪点。尤其是在红外图像中,由于整体图像对比度低,信噪比低等成像特点,海面与天空的分界线变得十分模糊,致使海天分界线很难呈现出完整的直线形态。

基于海天分界线较易受到噪声干扰的特点^[9-11],在进行分界线提取之前,需要对图像数据进行有针对性的滤波降噪,尽可能减少由空中高亮云团、海面杂波、光线反射等问题带来的干扰。

3 海天分界线提取

3.1 形态学滤波^[12]

数学形态学是由形态学的代数运算子组成,具有4个基本运算:腐蚀、膨胀、开运算和闭运算。开运算是先对图像进行腐蚀,然后膨胀,闭运算是先膨胀后腐蚀。两者并非互逆运算,因此可以通过开闭运算联合处理图像数据。

腐蚀运算由下式所示:

$$A \otimes B = \{(x, y) | B_{xy} \in A\} \quad (1)$$

式中: A 为图像数据, B 为结构模板。公式表示用 B 腐蚀 A 后得到的 (x, y) 仍在 A 集合中。通过腐蚀可以消除物体周围的边界点。

膨胀运算由下式所示:

$$A \oplus B = \{(x, y) | B_{xy} \cap A \neq \Phi\} \quad (2)$$

上式表示将 B 类集合中的点填充到 A 类集合中,从而增大图像区域面积。因此,开运算由以下式表示:

$$A \circ B = (A \otimes B) \oplus B \quad (3)$$

闭运算由下式所示:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \otimes B \quad (4)$$

根据形态学运算公式可以得出,闭运算可以用来填充物体内部的细小空洞,同时连接相邻物体,平滑边界,而开运算则用来消除小物体,在纤细点分离不同的物体,同时平滑大物体的边界。据此,本文搭建了一套由形态学闭运算及开运算组成的线性滤波器,使用 3×3 大小的结构模板对图像数据进行滤波降噪的预处理工作。滤波前后的对比图像如图1所示。其中,图1(a)为原图像,图1(b)为滤波后的结果图。从图1中可以看出,可见光与红外图像

在滤波后,图像整体更为平滑,边界轮廓也较为清晰,块状区域也较为明显。经过滤波后的海天背景图像更利于进行海天分界线的提取。

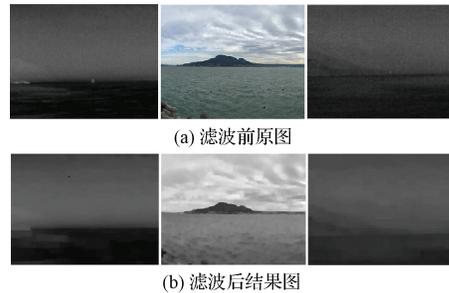


图1 形态学滤波前后对比

3.2 二维 OTSU

由于传统的一维 OTSU 阈值分割只考虑了图像中某一点的灰度信息,而忽略了图像的空间信息,因此在求取最佳阈值的过程中易受到噪声的干扰,从而造成分割结果不准确。考虑到海天背景图像中噪声干扰较大,分布较广的特点,本文提出将图像中某一点的灰度及其邻域灰度同时作为阈值分割依据,将一维 OTSU 拓展至二维,更全面的考虑到图像的空间信息,以此来解决图像中大量的噪声干扰。

考虑到一幅数字图像 $f(x, y)$, 定义其灰度级为 L , 则图像中每一像素点的邻域像素平均值灰度级也为 L , 由平均灰度值组成的邻域图像为 $g(x, y)$ 。同时,定义一个最佳阈值对 (s, t) , 其中 s 代表某一点的灰度阈值, t 代表该点邻域灰度阈值。这样就可以将一个二维直方图分割成如图2所示形式。

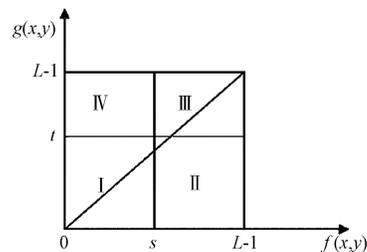


图2 二维 OTSU 灰度直方图区域划分

在传统二维 OTSU 算法理论值,图2中第I、第III区域被认为是目标和背景类,第II、第IV区域则被认为是噪声及干扰类。针对海天背景图像特点,本文提出海面背景与天空背景分别对应第I与第III区域,当阈值对 (s, t) 使得海面与天空类间距离最大时,认为此时图像被完整的分割成两部分。对应的阈值分界线即为海天分界线。算法流程如下:

1) 定义 f_{ij} 为阈值对 (i, j) 出现的概率,则在海面类 C_H 与天空类 C_T 出现的概率分别为:

$$\omega_H = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t f_{ij} \quad (5)$$

$$\omega_T = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} f_{ij} \quad (6)$$

2)海面与天空背景的类内灰度均值矢量可由下式表示:

$$\mu_H = (\mu_{H_1}, \mu_{H_2})^T = \left(\sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t i p_{ij}, \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t j p_{ij} \right)^T \quad (7)$$

$$\mu_T = (\mu_{T_1}, \mu_{T_2})^T = \left(\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} i p_{ij}, \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} j p_{ij} \right)^T \quad (8)$$

整个图像的均值矢量为:

$$\mu_A = (\mu_{A_1}, \mu_{A_2})^T = \left(\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} i p_{ij}, \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} j p_{ij} \right)^T \quad (9)$$

3)定义类间方差为:

$$\sigma = \omega_H [(\mu_H - \mu_A) (\mu_H - \mu_A)^T] + \omega_T [(\mu_T - \mu_A) (\mu_T - \mu_A)^T] \quad (10)$$

4)利用离散矩阵的迹来描述两类背景间的离散度:

$$tr_\sigma = \omega_H [(\mu_{H_1} - \mu_{A_1})^2 + (\mu_{H_2} - \mu_{A_2})^2] + \omega_T [(\mu_{T_1} - \mu_{A_1})^2 + (\mu_{T_2} - \mu_{A_2})^2] \quad (11)$$

因此,当阈值对 (s, t) 使得上式的值为最大时,海面与天空的两类间距离就为最大,便可将两类背景区分开来,如图3所示。



图3 本文算法对图1的阈值分割处理结果

3.3 Sobel 边缘提取

经过阈值分割后的图像会鲜明的呈现出两类背景,而背景之间的过渡即是海天分界线。由于梯度方向是在图像灰度最大变化率上,可以完整体现出图像边缘上的灰度变化,同时考虑到对噪声的抑制作用,本文选用 Sobel 梯度算子对背景图像进行边缘检测,提取海天分界线。Sobel算子矩阵如下:

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$S_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

该算子包括一个横向和一个纵向矩阵,通过与图像做卷积运算,可以分别得出图像在横向及纵向的亮度差分近似值,之后通过反正切公式计算角度以求得图像梯度变化方向。图像灰度变化达到极值处即为所求边缘。

4 实验结果分析

本文分别选取了可见光图像和红外图像作为原数据,首先通过形态学滤波对图像进行预处理,之后分别使用传

统一维 OTSU 算法与本文算法进行阈值分割,最后用 Sobel梯度算子提取海天分界线。通过结果对比来验证本文算法的精确性与有效性。

4.1 基于可见光图像数据的算法结果对比

可见光图像数据如图4所示。通过与一维 OTSU 结果对比可以看出,本文算法的处理结果质量均有提高。对于海面噪声干扰较大的图像,传统一维 OTSU 算法得到的结果中仍存在部分噪点,从而影响海天线的检测精度,如图5所示。本文算法通过引入邻域灰度信息,利用一个二维灰度矩阵来计算海面和天空两类背景的类间距离,有效地滤除了噪点,完整准确地提取出海天分界线,提取结果也更具有线性特征,如图6所示。



图4 可见光图像数据



图5 一维 OTSU 算法处理结果



图6 本文算法处理结果

4.2 基于红外图像数据的算法结果对比

红外图像数据如图7所示。由原图可以看出,红外图像相比可见光图像,具有对比度较低,海面与天空噪声较大,干扰较强等特点。一维 OTSU 算法处理后,提取结果不能有效的滤除全部噪声,对于天空背景复杂的图像,提取结果中会存在偏向天空的噪声干扰,无法准确获取海天分界线实际位置,如图8所示。通过本文算法处理,有效地滤除了高亮天空背景带来的干扰,提取结果具有更高的精度,如图9所示。虽然提取的海天分界线并不是一条完美的直线,但考虑到实际场景中,海天分界线并非是一条直线,同时海面舰船目标会出现在以海天分界线为中心线的带状区域内,在后续的目标检测跟踪过程中会根据海天线位置设定相应的波门进行处理。因此海天分界线的提取结果存在一定程度的曲线特征也是可以接受的。



图7 红外图像数据



图8 一维 Otsu 算法处理结果



图9 本文算法处理结果

5 结论

本文提出了一种基于二维 Otsu 的海天分界线检测算法,并将其与形态学滤波相结合,在 VS2015+OpenCV 平台下实现。通过加入像素点邻域灰度,将灰度直方图拓展至二维,更全面地考虑了图像的空间信息,在噪点过滤方面取得了很好的结果。通过对可见光图像与红外图像分别进行测试,得到的结果对比一维 Otsu 算法均有很大提升。实验证明本文算法具有一定的鲁棒性及适应性。

参考文献

- [1] 刘士建,蒋敏,庄良. 一种快速有效的红外图像中海天线提取算法[J]. 红外技术,2011,33(4):230-232,240.
- [2] 安博文,胡春暖,刘杰,等. 基于 Hough 变换的海天线检测算法研究[J]. 红外技术,2015,37(3):196-199.
- [3] 黄英东,李杰,范宁军. 海天线舰船定位算法研究[J]. 北京理工大学学报:自然科学版,2008,28(4):302-305.

- [4] 滕秋霞,沈天飞,杨金霄. 基于多肤色模型的人脸检测系统研究[J]. 电子测量技术,2015,38(9):47-51.
- [5] 朱贺,李臣明,张丽丽,等. 联合灰度阈值分割及轮廓形态识别的河道提取[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(11):1288-1296.
- [6] 陈明亮,陈成新,古建平. 一种基于直方图的自适应分段线性变换法[J]. 国外电子测量技术,2015,34(2):36-38.
- [7] 范九伦,赵凤. 灰度图像的二维 Otsu 曲线阈值分割法[J]. 电子学报,2007,35(4):751-755.
- [8] 郝颖明,朱枫. 二维 Otsu 自适应阈值的快速算法[J]. 中国图象图形学报,2005,10(4):484-488.
- [9] 董月芳. 海天背景下海天线定位及目标跟踪算法研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2010.
- [10] 刘松涛,周晓东,王成刚. 复杂海空背景下鲁棒的海天线检测算法研究[J]. 光电工程,2006,33(8):5-10.
- [11] 杜文超,董其义,李振宇,等. 水天线在识别红外舰船图像目标中的应用[J]. 国外电子测量技术,2005,34(7):46-49.
- [12] 郭海涛,徐雷,赵红叶,等. 一种抑制声纳图像散斑噪声的形态学滤波器[J]. 仪器仪表学报,2015,36(3):654-660.

作者简介

韩嘉隆,1990 年出生,工学硕士在读,主要研究方向为光电跟踪技术研究和图像处理与识别。

E-mail: muohaha@sina.cn

毛征,1959 年出生,工学博士,教授,主要研究方向为兵器系统仿真与光电跟踪技术研究。

E-mail: maozheng@bjut.edu.cn