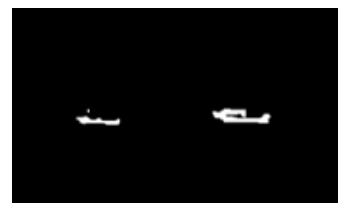


DOI: 10.12086/oe.2018.170748

红外视频中的舰船检测

石超, 陈恩庆*, 齐林

郑州大学信息工程学院, 河南 郑州 450001



摘要: 红外视频中的舰船目标检测在渔政管理、港口监控等领域具有广泛的应用价值。传统的背景减除方法,如高斯混合模型(GMM)、码本算法(Codebook)和 ViBe 算法等,在海面红外视频舰船检测过程中容易受到海浪的影响导致错误检测。本文提出一种新的算法框架实现红外海面视频中的舰船检测任务。该算法框架采用了 Top-Hat 操作对红外图像进行预处理,从而有效过滤杂波,随后应用改进 ViBe 算法完成对舰船目标的检测。实验结果表明,本文算法可以有效抑制背景噪声,取得了较好的检测效果。

关键词: 舰船检测; 运动目标检测; ViBe 算法; 红外视频

中图分类号: TP391

文献标志码: A

引用格式: 石超, 陈恩庆, 齐林. 红外视频中的舰船检测[J]. 光电工程, 2018, 45(6): 170748

Ship detection from infrared video

Shi Chao, Chen Enqing*, Qi Lin

School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China

Abstract: The ship detection in infrared video has wide application value in fishery administration, port monitoring and other fields. Traditional background modeling methods, such as GMM(Gaussian mixture model), Codebook, and ViBe, will make more false detection in the ship detection from the infrared ocean video because of the impact of the waves. The paper proposes a new algorithm to detect ships in the infrared ocean video. The algorithm framework adopts the Top-Hat operation to preprocess the infrared image to filter the clutter effectively, then improves ViBe algorithm to detect the moving ship target. Experimental results show that the method can effectively suppress the background noise and get better detection results.

Keywords: ship detection; moving targets detection; ViBe; infrared video

Citation: Shi C, Chen E Q, Qi L. Ship detection from infrared video[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, 45(6): 170748

1 引言

海面视频运动目标检测是常见而又具有挑战的研究任务,具有重要的实用和理论意义^[1]。舰船检测是海面运动目标检测中一个最重要方向,在海域安全、捕鱼管理、港口以及船舶监控等方面有广泛应用。

传统的运动目标检测主要分为光流法^[2]、帧差法、

背景差分法^[3]等,其中背景差分法较为常用^[4-6]。海面运动目标检测中最主要的噪声来自于海浪,海浪的运动非常容易导致检测算法的错误检测。本文算法主要考虑如何过滤海浪的影响,并通过背景建模得到舰船目标检测。

背景建模的方法有很多种^[7],常用的背景建模方

收稿日期: 2018-01-01; 收到修改稿日期: 2018-02-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61331021); 河南省重点科技攻关项目(152102310294); 河南省产学研项目(162107000023)

作者简介: 石超(1994-),男,硕士研究生,主要从事运动目标检测与跟踪的研究。E-mail: 1170712943@qq.com

通信作者: 陈恩庆(1977-),男,博士,教授,主要从事模式识别、图像处理的研究。E-mail: ieeqchen@zzu.edu.cn

法有混合高斯模型(Gaussian mixture model, GMM)^[8]、码本模型(codebook)^[9]和 ViBe (visual background extractor) 算法。混合高斯模型是较为经典的算法,但是无法应对海浪这种毫无规律变化的动态背景。Kim 提出的码本模型只能适应小范围周期性运动的背景。ViBe 算法采用单一帧对背景建模,可以快速地检测前景目标,但是容易产生鬼影。针对红外视频中海面运动的舰船检测问题,本文提出一种将 Top-Hat 操作与 ViBe 改进算法相结合的方法,可以较准确地完成舰船目标检测。

2 红外图像预处理

红外图像的预处理技术可以说是一种背景抑制技术。通过预处理操作抑制海面的复杂背景和杂波的干扰,从而提高图像的信噪比^[10],以便于后续的舰船目标检测。本文采用了 Top-Hat 滤波作为红外视频帧的预处理,如图 1 所示。

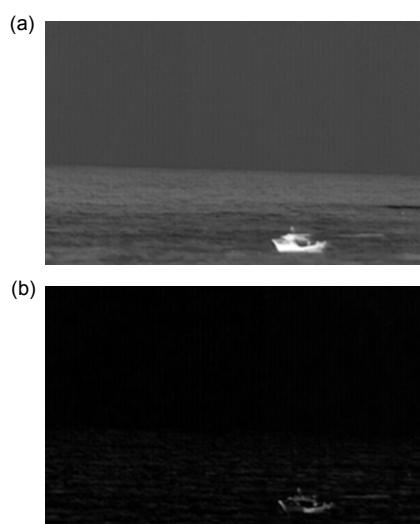


图 1 Top-Hat 滤波
Fig. 1 Top-Hat filter

形态学滤波最基本的算子就是膨胀和腐蚀。若图像为 f , 结构元素记为 $c(x)$ 。膨胀是将图像 f 与核 $c(x)$ 卷积, 求局部最大值的操作, 使目标增大, 可添补目标物体中的空洞。腐蚀运算是膨胀的反操作, 用来求局部最小值的操作, 主要起到使目标缩小, 消除物体边界点的作用。

膨胀:

$$f \otimes c = \max_{y \in c} \{f(x+y) - c(y)\} \quad (1)$$

腐蚀:

$$f \oplus c = \min_{y \in c} \{f(x-y) + c(y)\} \quad (2)$$

开运算是先腐蚀再膨胀, 公式如下:

$$f \circ c = (f \oplus c) \otimes c \quad (3)$$

闭运算是先膨胀后腐蚀, 公式如下:

$$f \bullet c = (f \otimes c) \oplus c \quad (4)$$

Top-Hat 操作可以用来抑制背景, 突出局部亮度极大值。由于海面背景的特殊性, 我们采用了 Top-Hat 操作在海面背景中找出舰船目标, 从而抑制杂波和背景噪声。

Top-Hat 的处理可以描述为

$$T_{\text{Top-Hat}}(f) = f - (f \circ c) \quad (5)$$

3 基于改进 ViBe 算法的舰船检测

3.1 ViBe 算法介绍

ViBe 算法为每个像素点建立一个样本背景模型, 计算待分类像素与背景模型的相似度, 如果相似, 则分类为背景, 不相似则为前景^[11]。ViBe 算法主要可以分为以下几个步骤:

1) 背景模型初始化: ViBe 算法主要是通过单一帧视频图像进行模型初始化。ViBe 算法为每一个像素点 p 都建立大小为 N (N 一般取值为 20) 的一个背景模型。 V_i 表示索引为 i 的背景样本。ViBe 算法从 p 的 8 邻域中随机选择 20 个样本值作为初始化的背景模型。初始化背景模型 M 的定义:

$$M(p) = \{V_1, V_2, \dots, V_{N-1}, V_N\} \quad (6)$$

2) 像素分类: 初始化的背景模型建立后, ViBe 算法就采用二维的欧氏距离来判定待分类像素与背景模型的相似度^[12]。判别方法如下: 对于像素点 p , $V(p)$ 是 p 点的像素值, 记 $S_R(V(p))$ 为以 $V(p)$ 为中心, 半径为 R (原文中 R 的值为 2) 的二维欧氏空间, 如图 2 所示。若 $S_R(V(p))$ 与背景模型 M 的交集的个数大于等于阈值 T_{th} , 则判定 p 为背景点, 否则为前景点。

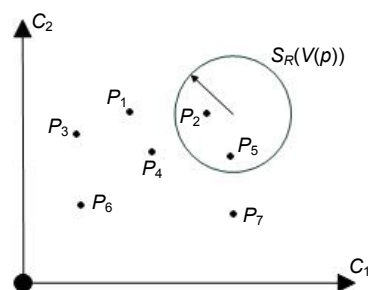


图 2 二维欧氏空间像素分类 (C_1, C_2)
Fig. 2 2D European space pixel classification (C_1, C_2)

3) 背景模型更新策略: 当像素点 p 被判定为背景点, 则它有一定几率去更新当前的背景模型。当背景

模型确认被更新时,新的像素值将随机替换该像素样本集中的样本值。不仅如此,对于更新的像素点,会随机选取该像素点邻域的背景模型进行更新。

3.2 ViBe 算法的改进

对于海面的目标检测,海浪的波动是毫无规律的,ViBe 算法采用欧氏距离模型不利于更准确判断像素点为前景点还是背景点。本文借鉴了 Codebook 算法中的颜色模型对 ViBe 算法的像素分类进行了改进。Codebook 使用的颜色模型为三通道的 RGB 颜色空间,本文使用的为红外视频帧,所以在使用 Codebook 的颜色空间时,把红外图像作为一个三通道图像处理。

Codebook 提出了颜色模型对色彩失真度进行了估算。如图 3 所示,背景的像素值 V_i 沿着主轴方向,当我们获得一个待分类像素 $X_i=(R, G, B)$, 其中:

$$\begin{aligned} \|X\| &= R + G + B, \\ \|V\| &= \bar{R} + \bar{G} + \bar{B}, \\ \langle X, V \rangle &= (\bar{R}R + \bar{G}G + \bar{B}B). \end{aligned} \quad (7)$$

色彩失真度 δ 可用下面的公式计算:

$$p = \|X\| \cos \theta = \frac{\langle X, V \rangle}{\|V\|}, \quad (8)$$

$$S_{\text{colordist}}(X, V) = \delta = \sqrt{\|X\| - p}. \quad (9)$$

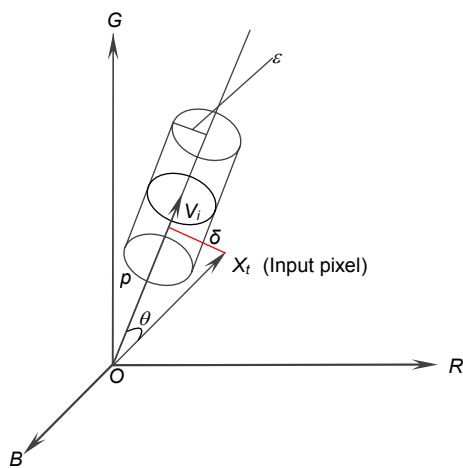


图 3 Codebook 颜色模型

Fig. 3 Codebook color model

我们可以看出颜色失真度的区别,举一个例子,我们使用在 RGB 空间中具有相同欧氏距离的两对像素值,一对低像素值 $\langle 10, 10, 10 \rangle$ 和 $\langle 8, 10, 12 \rangle$, 另一对为高像素值 $\langle 200, 200, 200 \rangle$ 和 $\langle 198, 200, 202 \rangle$, 它们在归一化色彩中的颜色失真量分别为 $2/15$ 和 $1/150$ 。像素分类标准为

$$S_{\text{colordist}}(X_i, V_m) \leq \varepsilon_1, \quad (10)$$

式中 ε_1 为检测阈值。

另外,我们计算背景模型的标准差为 ε_2 , 然后定义一个匹配阈值为 $0.5\varepsilon_2$, 匹配阈值的边界为 $[20, 40]^{[13]}$ 。这里用自适应阈值替代了 ViBe 算法原先的固定阈值 T_{Th} 。如果背景越复杂,匹配阈值将越大,可以更有效地应对复杂的海面情况。本文使用了颜色失真度和自适应阈值来改进 ViBe 算法,弥补了一些不足。通过公式中的颜色失真度和匹配阈值来判断当前像素与背景模型中像素值匹不匹配。如果匹配,则该像素点为背景点,然后更新背景。如果不匹配当前像素点,则判断为前景点。

3.3 舰船目标检测流程

图 4 为本文所提出的算法流程图。在本文提出的方法中,红外视频中的运动目标检测主要可以分为以下三个基本步骤:

- 1) 读取视频帧。在本步骤中,只是简单的从红外海洋视频中读取视频帧;
- 2) 滤波处理。使用 Top-Hat 操作进行滤波处理,用来抑制背景;
- 3) 背景建模与前景提取。使用 Vibe 的改进算法在红外海洋视频中检测舰船目标。



图 4 算法流程图

Fig. 4 Flow chart of the algorithm

4 实验结果与分析

本实验使用的开发环境为 Visual Studio 2015 和 OpenCV 3.1.0, 所用的 PC 配置为 2.9 GHz Intel(R) Core(TM)处理器、4 G 运行内存和 Win10 操作系统。为了验证本文的算法,在不同的场景下分别进行了仿真,图 5、图 6、图 7 分别为单一舰船场景、岛屿及单一舰船场景、岛屿及多舰船场景。同时,为了进行算法的对比,使用 Codebook 算法、KDE 算法^[14]、高斯混合模型、ViBe 算法做了相应的实验。图 8 为以上各种背景建模法的每秒传输帧数(frames per second, FPS)的对比图。

实验使用的是红外海洋视频,实验结果为某一帧图像使用不同的方法所得到的前景背景分割图像。从结果图中可以看出,在单一舰船场景下,海浪较小,高斯混合模型存在一些背景噪声,在检测的舰船目标

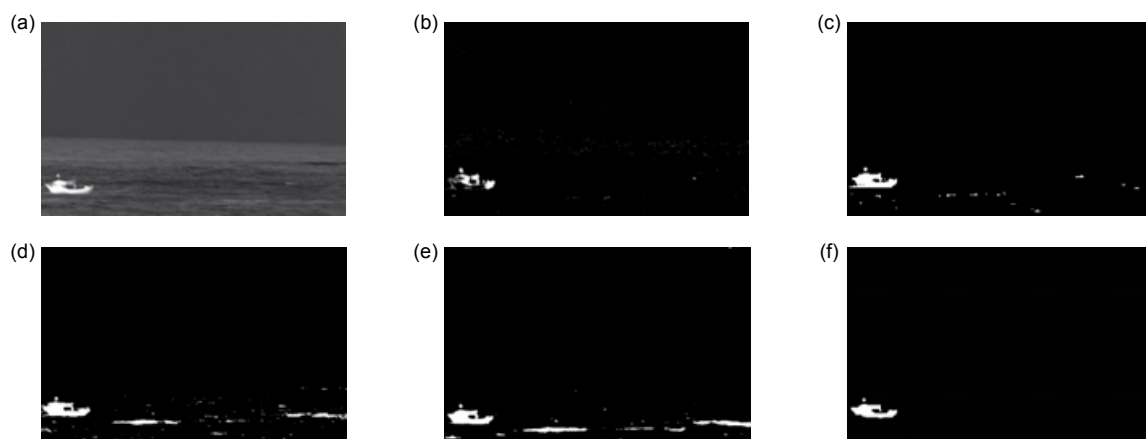


图 5 单一舰船场景下前景背景分割结果。(a) 输入视频帧; (b) 高斯混合模型; (c) ViBe 算法; (d) Codebook 算法; (e) KDE 算法; (f) 本文算法

Fig. 5 Foreground and background segmentation results of a single ship. (a) The input image; (b) GMM; (c) ViBe; (d) Codebook; (e) KDE; (f) Our method

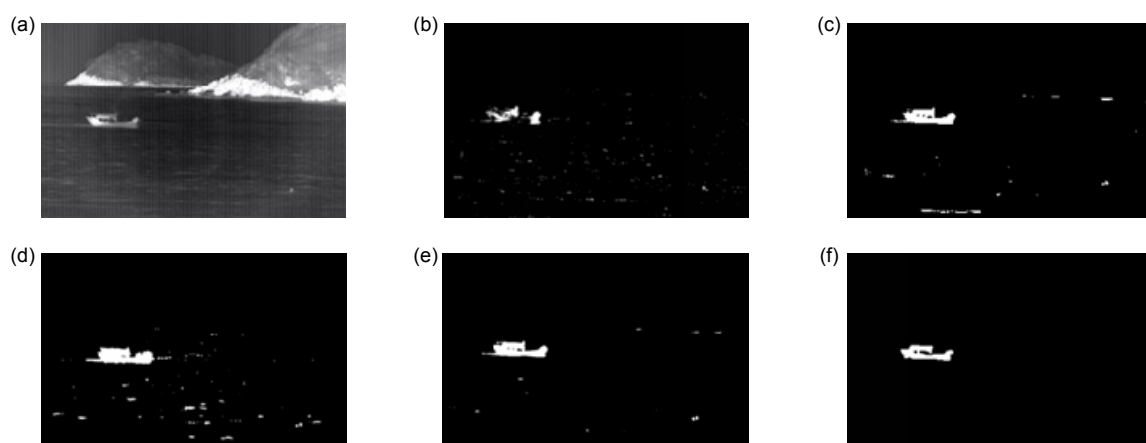


图 6 岛屿及单一舰船场景下前景背景分割结果。(a) 输入视频帧; (b) 高斯混合模型; (c) ViBe 算法; (d) Codebook 算法; (e) KDE 算法; (f) 本文算法

Fig. 6 Foreground and background segmentation results of a single ship and island. (a) The input image; (b) GMM; (c) ViBe; (d) Codebook; (e) KDE; (f) Our method

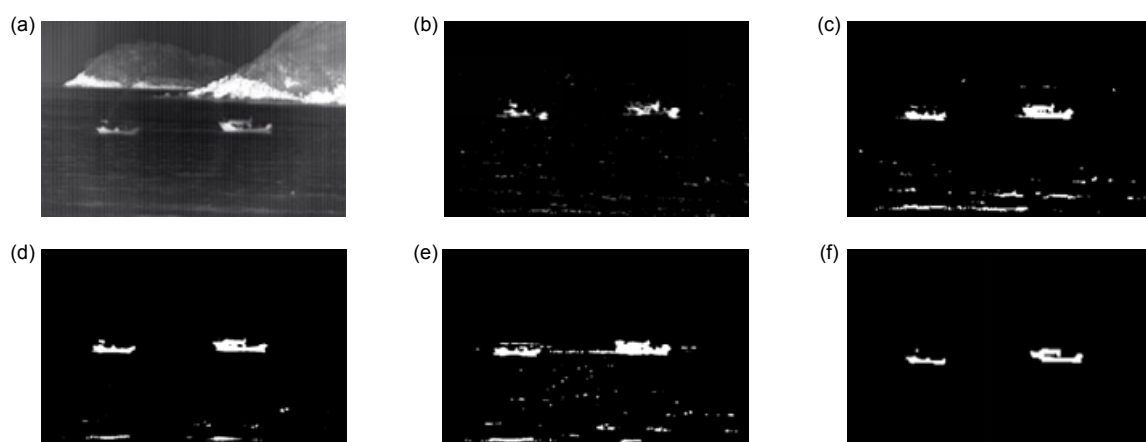


图 7 岛屿及多舰船环境下前景背景分割结果。(a) 输入视频帧; (b) 高斯混合模型; (c) ViBe 算法; (d) Codebook 算法; (e) KDE 算法; (f) 本文算法

Fig. 7 Foreground and background segmentation results of island and many ships. (a) The input image; (b) GMM; (c) ViBe; (d) Codebook; (e) KDE; (f) Our method

中存在一些空洞, ViBe 算法也存在一些海浪噪声,但是能检测出完整的舰船目标,在 KDE 算法和 Codebook 算法中舰船目标还算完整但是海浪较为明显,而本文的算法能排除海浪的影响,能检测出完整的舰船。在岛屿及单一舰船场景下,高斯混合模型、ViBe 算法、Codebook 和 KDE 算法基本都能检测出舰船目标,但是存在很多杂波背景噪声,而本文算法能得到更准确的前景目标。在岛屿及多舰船环境下,海浪较大,高斯混合模型检测的目标空洞较大,细节不清晰,ViBe 算法、KDE 和 Codebook 算法都能检测出清晰的舰船目标但是受海杂波影响较大,检测效果比较差,而本文算法采用了自适应阈值更能够有效应对海杂波的影响,抑制背景,得到较好的检测效果,但是舰船目标在完整性上是有些缺陷的,所以仍需进一步研究。从图 8 中可以看到以上几种算法基本都能达到实时性的要求,其中 ViBe 算法较快,本文算法由于在 ViBe 算法的基础上添加了判别标准与改进,所以 FPS 值稍次于 ViBe 算法,但是本文算法在面对海浪拥有更强的适应性。从以上实验数据的对比中,不难看出,高斯混合模型容易产生空洞,目标不清晰,ViBe 算法、Codebook 算法和 KDE 算法检测的目标还算完整,但是对海浪等背景干扰较为敏感,而本文提出的算法在复杂背景和动态背景下的多目标检测具有更好的鲁棒性。

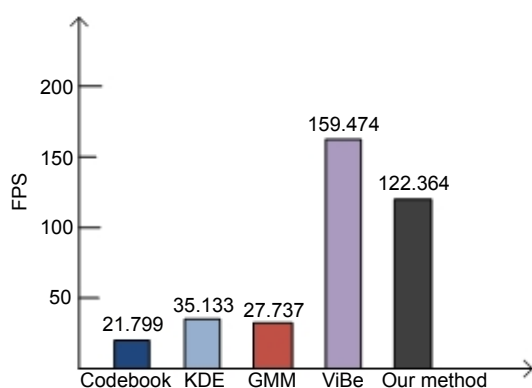


图 8 5 种背景建模法的 FPS 的对比图

Fig. 8 FPS contrast chart of five background modeling methods

5 结 论

本文提出了一种使用 Top-Hat 滤波与改进的 ViBe 算法结合的检测红外海洋视频中舰船目标的方法。首先使用 Top-Hat 滤波去抑制海面杂波与背景噪声,然后,采用 ViBe 算法与 Codebook 算法的改进算法,使

用颜色失真度与自适应阈值来判断前景背景,完成对舰船目标的检测。实验结果表明,针对红外海洋视频,相对于传统算法本文算法可以获得较好的检测效果。

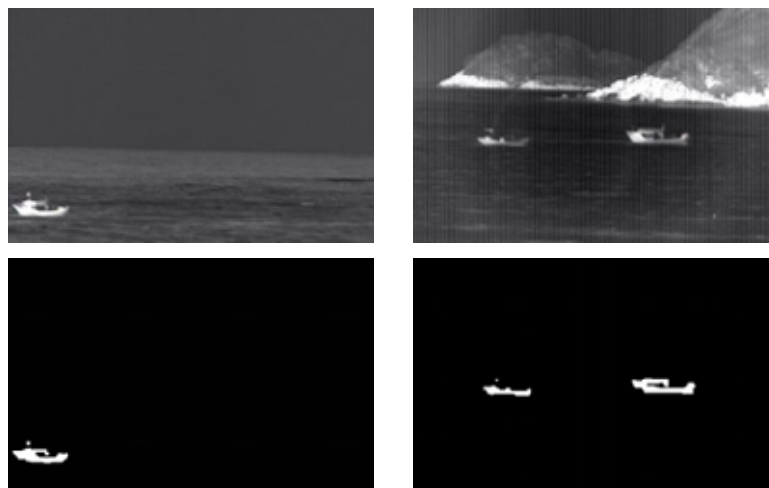
参考文献

- [1] Gao F, Jiang J G, An H X, et al. A fast detection algorithm for moving object[J]. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)*, 2012, **35**(2): 180–183.
高飞, 蒋建国, 安红新, 等. 一种快速运动目标检测算法[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2012, **35**(2): 180–183.
- [2] Bathia H V P K. An efficient algorithm for real time moving object detection using GMM and optical flow[J]. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 2015, **3**(6): 5096–5101.
- [3] Zhang S S, Jiang T, Peng Y X, et al. A new pixel-level background subtraction algorithm in machine vision[C]//*Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Robotics and Applications*, 2017: 520–531.
- [4] St-Charles P L, Bilodeau G A. Improving background subtraction using Local Binary Similarity Patterns[C]//*Proceedings of 2014 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision*, 2014: 509–515.
- [5] Ge W F, Dong Y H, Guo Z H, et al. Background subtraction with dynamic noise sampling and complementary learning[C]//*Proceedings of the 2014 22nd International Conference on Pattern Recognition*, 2014: 2341–2346.
- [6] Lee H, Kim H S, Kim J I. Background subtraction using background sets with image- and color-space reduction[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2016, **18**(10): 2093–2103.
- [7] Xu Y, Dong J X, Zhang B, et al. Background modeling methods in video analysis: a review and comparative evaluation[J]. *CAA/Transactions on Intelligence Technology*, 2016, **1**(1): 43–60.
- [8] Wang H, Gao J, Yu L J, et al. Combined improved Frequency-Tuned with GMM algorithm for moving target detection[C]//*Proceedings of 2017 International Conference on Mechatronics and Automation*, 2017: 1848–1852.
- [9] Kim K, Chalidabhongse T H, Harwood D, et al. Real-time foreground-background segmentation using codebook model[J]. *Real-Time Imaging*, 2005, **11**(3): 172–185.
- [10] Xu X H, Xiao G, Yun X, et al. Moving object tracking in complex background and occlusion conditions[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2013, **40**(1): 23–30.
许晓航, 肖刚, 云霄, 等. 复杂背景及遮挡条件下的运动目标跟踪[J]. 光电工程, 2013, **40**(1): 23–30.
- [11] Barnich O, Van Droogenbroeck M. ViBe: a powerful random technique to estimate the background in video sequences[C]//*Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2009: 945–948.
- [12] Barnich O, Van Droogenbroeck M. ViBe: a universal background subtraction algorithm for video sequences[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, **20**(6): 1709–1724.
- [13] Van Droogenbroeck M, Paquot O. Background subtraction: experiments and improvements for ViBe[C]//*Proceedings of 2012 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 2012: 32–37.
- [14] Elgammal A, Harwood D, Davis L. Non-parametric model for background subtraction[C]//*Proceedings of the 6th European Conference on Computer Vision*, 2000: 751–767.

Ship detection from infrared video

Shi Chao, Chen Enqing*, Qi Lin

School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China



Foreground and background segmentation result

Overview: Moving target detection on the sea surface is a very complicated work. Due to the complex environment of the surface, there are a lot of clutter, so it is difficult to detect the ship on the sea surface. Most of the moving object detection algorithms are applicable to the field of visible light, but visible light imaging is only suitable for daytime work and cannot continuously detect the target at night. Infrared camera can continue to work at night, so it has certain advantages compared with the visible light camera. At present, the moving target detection based on infrared video is a popular research direction. The ship detection from infrared video has wide application value in fishery administration, port monitoring and other fields. In the infrared sea video, the background is more complicated and the waves are irregular, which undoubtedly will increase the difficulty of detecting the ship. Traditional background modeling methods contain Gaussian Mixture Model, Codebook and ViBe, etc. In the process of ship detection from the infrared video, the Gaussian Mixture Model is easy to produce hollow, and it will lead to the detected ship to be incomplete; The Codebook only can adapt to the background of the small periodic motion, unable to cope with the irregular change of the sea clutter; ViBe which uses the single frame for background modeling, can quickly detect foreground targets, but it is prone to ghost and cannot deal with the complex sea environment. Above these algorithms are easily affected by the waves leading to false detection. So this paper proposes a new algorithm framework to detect ship from the infrared video. First of all, the algorithm adopts a Top-Hat operation for preprocessing of the infrared images to suppress the background clutter effectively and highlight the ship target, and then improves ViBe to detect the moving ship target. The paper using adaptive threshold replaces the original fixed threshold of Vibe to deal with the complex environment of the sea surface. In addition, the paper introduces the color distortion as the judgment standard to complete the ship target detection. In the experiment of FPS contrast chart, the algorithm can achieve real-time requirements. In addition, the experimental results show that the algorithm can effectively suppress background noise, and the selection of adaptive threshold can better cope with the complex and varied waves on the sea. Compared with other algorithms, it is shown that the proposed algorithm can achieve better detection results and robustness.

Citation: Shi C, Chen E Q, Qi L. Ship detection from infrared video[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, 45(6): 170748

Supported by National Natural Science Foundation (61331021), the Key Science and Technology Program of Henan Province(152102310294), and the Industry-University-Research Collaboration Program of Henan Province (162107000023)

* E-mail: ieeqchen@zzu.edu.cn