

基于多结构形态学的港口船舶检测方法^①

石文豪, 安博文

(上海海事大学 信息工程学院, 上海 201306)

摘要: 针对港口监控摄像机与船舶目标距离远, 船舶目标成像小, 海面噪声干扰大等特点, 采用一种基于多结构元素形态学滤波的背景抑制算法。根据船舶的几何特征, 采用多组结构元素的加权形态学滤波, 将船舶目标与海面背景分离, 然后利用基于邻域的自适应快速中值滤波滤除脉冲噪声, 最后根据海面杂波在帧间运动不连续且面积较小等特点, 利用连通域计算建立船舶的形态特征模型, 来排除海面杂波对船舶检测的干扰。实验结果表明, 该检测方法在实际港口获取的视频中, 可以有效的抑制背景噪声和海面杂波, 快速的检测出船舶目标。

关键词: 港口船舶; 多结构形态学; 中值滤波; 连通域计算; 海面杂波

Port Ship Detection Method Based on Multi-Structure Morphology

SHI Wen-Hao, AN Bo-Wen

(College of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Aiming at the image of ship target is small and far from the harbor surveillance, the interference of sea noise and other characteristics, a background suppression algorithm based on morphological filtering is proposed. According to the geometric features of the ship, the project first uses the weighted morphological filtering of multi group structure elements to separate the ship target and the sea background, then the adaptive and fast median filter based on neighborhood is used to filter the impulse noise, finally, due to the sea clutter in the frames is discontinuous and the area is lesser, thus the connected domain computing to eliminate the ship's model about morphological feature is also used. The experimental results show that the proposed detection algorithm can effectively suppress the background noise, the sea clutter, and quickly detect the ship target in the actual port video.

Key words: harbor ship; multi structure morphology; median filtering; connected domain calculation; sea clutter

港口船舶检测方法的研究, 对实现船舶的实时检测, 提高港口船舶监测系统的工作效率有重要的意义。文献[1-2]提出了基于混合高斯背景建模的船舶检测方法, 由于海面光照变化大, 云层背景变化快等特点, 对背景更新造成严重的干扰^[3]; 文献[4]采用基于船舶颜色和纹理特征的检测方法, 对于低对比度的小目标, 虚警率较高; 文献[5]采用改进的帧间差分, 当船舶运动速度缓慢时, 只能检测出船舶的轮廓, 造成船体中心的大面积空洞。本文针对实际港口采集的视频中, 船舶大小不一, 运动速度缓慢等特点, 采用了一种基于多结构元素形态学滤波的背景抑制算法, 根据船舶的几何特征, 设计多组结构元素, 将船舶目标与海面

背景分离, 同时经过多次开运算填补船体的空洞, 然后利用基于邻域的自适应快速中值滤波和连通域计算, 滤除脉冲噪声和海面杂波, 最终有效的检测出船舶目标。该方法的检测系统如图1所示。

1 多结构形态学滤波

数学形态学由一组形态学代数运算组成, 它可以简化图像数据, 保持图像的基本形状特性, 并除去不相干的结构, 以达到分析和识别的目的^[6]。形态滤波采用非线性代数工具, 利用信号的局部特征对信号进行修正, 能有效地滤除灰度图像中的噪声^[7]。令 $f(x, y)$ 表示输入图像, $g(x, y)$ 表示结构元素, 则腐蚀和膨胀

^① 收稿时间:2016-02-02;收到修改稿时间:2016-03-22 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005401]

分别定义为:

$$(f \ominus g)(x, y) = \min\{f(x-i, y-j) - g(-i, -j)\} \quad (1)$$

$$(f \oplus g)(x, y) = \max\{f(x-i, y-j) + g(-i, -j)\} \quad (2)$$

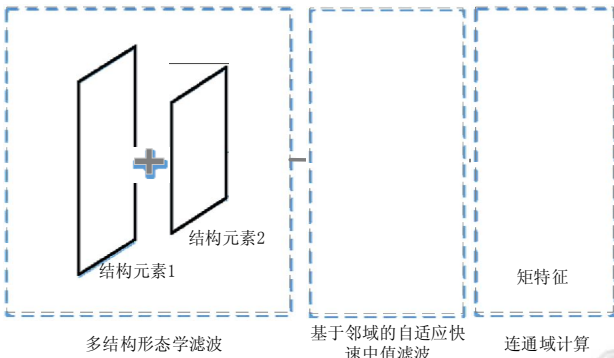


图 1 目标检测系统

形态学的开运算定义为:

$$f \circ g = (f \ominus g) \oplus g \quad (3)$$

开运算具有磨光图像外边界的作用, 它去除了轮廓细小的突出部分, 将原图像与形态学开运算后的图像作差, 就得到了 Top-hat 定义式:

$$Top-hat(f) = f(x, y) - f \circ g(x, y) \quad (4)$$

由于形态学滤波与结构体的尺寸大小相关, 结构体的尺寸大小决定了高通滤波的效果^[8]. 选择的结构体尺寸越小, 滤除图像中的低频背景就越彻底, 所能保留的目标尺寸也就越小. 最小目标尺寸与结构体存在以下近似关系:

$$\max(S_{object}) \leq \frac{1}{2} \max(S_{struct}) \quad (5)$$

$\max(S_{object})$ 表示最小目标在像平面中的二维尺寸最大值, $\max(S_{struct})$ 表示用于形态滤波的结构体二维尺寸的最大值.

背景抑制算法就是利用形态学开运算结果来估计背景分量, 然后与原图像相减, 以得到不含背景分量的目标图像. 但是当图像中存在多个目标, 且目标尺寸差距较大时, 采用传统的单一结构元素的形态学滤波, 会在滤除低频背景的同时, 将小目标一并滤除, 滤波结果如图 2 所示.

为避免单一结构元素形态学滤波带来的缺点^[9], 本文考虑目标与背景的几何特征差异, 采用多结构元素的加权开运算. 令 y 表示输入图像, a 表示权值系数, $B_1(m_1, n_1)$ 和 $B_2(m_2, n_2)$ 分别表示不同结构体的开运算.

$$y = a * y \circ B_1(m_1, n_1) + (1-a) * y \circ B_2(m_2, n_2) \quad (6)$$

a 的值可以根据滤波后图像的信息熵和原图信息熵的比值进行调整. 结构元素选择是形态学滤波的关键, 非凸性子集的结构算子, 由于连接两点的线段大部分位于集合的外面, 得不到更多的有用信息. 本算法根据船舶目标的几何特征选择凸性集合的十字形结构元素, 该方法能够将将与结构元素相比尺寸较小的亮细节消除, 同时保持图像的灰度值和大的亮度区域基本不受滤波的影响.

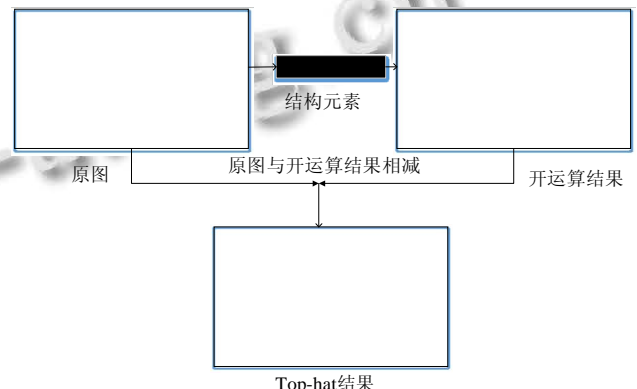


图 2 传统形态学滤波结果

2 基于邻域的自适应快速中值滤波

传统的中值滤波^[10]采用固定大小的窗口, 滤波时对图像部分细微点的损失比较明显, 而且每移动一次窗口, 都要对窗口内的所有像素点重新排序, 对于 N 个元素的窗口, 其算法复杂度为 $O(N \log N)$. 本文采用基于直方图统计的快速中值滤波, 通过计算窗口内像素的直方图间接得到中值, 当窗口移动时, 只需更新移入移出的像素信息.

$$T_{avg}(N) = cN + \frac{2}{N} \sum_{i=0}^N T_{avg}(i) \quad (7)$$

$T_{avg}(N)$, $T_{avg}(i)$ 分别为对 N 个和第 i 个元素进行快速排序的平均时间复杂度, c 为常数. 根据文献[11], 有 $T_{avg}(N) < kN \log N$, k 为常数.

为了改进固定窗口大小的中值滤波, 对图像细微点的损失, 采用增大滤波窗口的方式, 同时为了避免将目标边缘像素值较高的像素点误判为噪声点, 例如窗口值为 $[20, 30, 30, 35, 40, 50, 100, 100, 100]$, 100 很可能是目标边缘点, 被误判为噪声, 所以将邻域像素也作为输出的判决依据. 设 $f(i, j)$ 为图像中位置 (i, j) 处的灰度值, $w(m, n)$ 为当前滤波的窗口, $w_{max}(m, n)$ 为最大的滤波窗口, $f_{max}(i, j)$ 、 $f_{min}(i, j)$ 以及 $f_{med}(i, j)$ 分别为滤波窗口中

灰度的最大值、最小值以及中值, n_m 为窗口中像素等于 $f_{med}(i, j)$ 的个数. 自适应中值滤波的过程如下:

(1) 若 $f_{max}(i, j) - f_{med}(i, j) > T$ (T 为阈值), $f_{med}(i, j) - f_{min}(i, j) > T$ 跳转到步骤 2, 否则, 增大窗口, $w(m, n) \leq w_{max}(m, n)$, 对于新的窗口进行快速中值排序, 直到满足以上条件, 并输出 $f(i, j)$.

(2) 若 $f_{max}(i, j) - f(i, j) > T$, $f(i, j) - f_{min}(i, j) > T$ 则输出 $f(i, j)$, 否则判断 $n_m > \frac{nm}{3}$ 是否成立, 若成立输出 $f(i, j)$, 若不成立输出 $f_{med}(i, j)$.

3 连通域计算

采用基于轮廓的连通域标记方式, 来获得船舶的形态特征, 连通区域的矩特征^[12]表示为:

$$m_{pq} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} i^p j^q f(i, j) \quad (8)$$

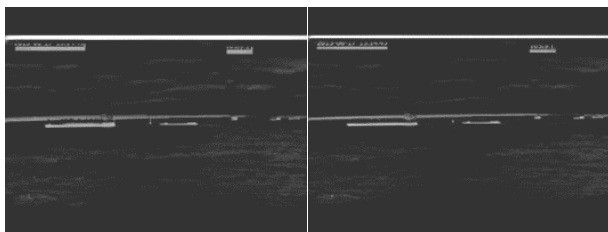
$$u_{pq} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} (i - i_c)^p (j - j_c)^q f(i, j) \quad (9)$$

m_{pq} 表示 $(p+q)$ 阶矩区域, u_{pq} 表示中心矩, i, j 是区域点坐标, $i_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, j_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}$ 表示区域质心坐标. 本文采用以下四个量来描述船舶目标: 区域长度 l , 区域高度 h , 长宽比 r , 区域面积 c , 组成一个四维目标特征矢量 $V(l, h, r, c)$, 在二值图像中 $c = m_{00}, l = \max(j - j_c), h = \max(i - i_c), r = \frac{l}{h}$, 若目标特征 $V(l, h, r, c)$ 不满足设定的阈值时, 直接删除该轮廓.

4 实验结果分析

实验所用视频图像为港口真实视频, 时长 1 分 27 秒, 分辨率为 640×480 . 计算机内存为 4GB, 系统平台为 32 位 winXP 系统, 软件实施平台为 VS2010 和 opencv2.4.8, 视频帧率为 24fps.

本文采用两级多结构形态学滤波, 权值系数 $a = 0.7$, 实验结果如图 4 所示.



传统开运算 改进开运算

图 4 两种开运算效果比较

为验证本文算法对背景噪声的抑制性能, 对两种

算法结果分别计算其均方差、峰值信噪比和信息熵, 计算公式如下:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I(i, j) - K(i, j))^2 \quad (10)$$

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (11)$$

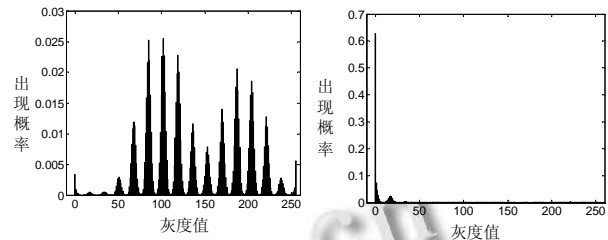
$$EN = - \sum_{g=0}^{L-1} p(g) \log_2 p(g) \quad (12)$$

式中 MSE 表示均方差, $I(i, j)$ 为原始图像, $K(i, j)$ 为开运算图像, $PSNR$ 表示峰值信噪比, MAX_I 表示图像点颜色的最大数值, EN 表示图像的信息熵, L 表示图像总的灰度级数, $p(g)$ 表示灰度值为 g 的像素的概率分布, 计算结果如表 1 所示.

表 1 两种算法的比较结果

算法	MSE	PSNR	EN
传统开运算	6.9687×10^{-3}	9.6993	3.6416
改进开运算	6.5278×10^{-3}	9.9831	3.7632

同时, 对原图像和经过多结构开运算之后的图, 进行显著性分析, 分析结果如图 5 所示.

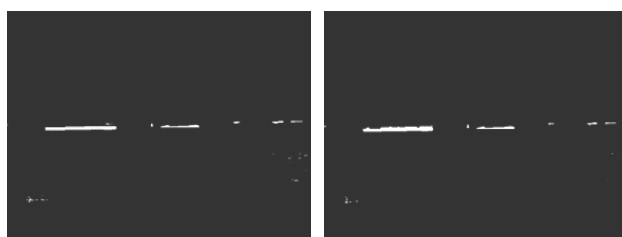


(a)处理前 (b)处理后

图 5 显著性对比图

由图像可得, 原始图像像素呈均匀分布在很宽的一个灰度级范围内, 经过本文算法进行开运算之后, 海面背景像素主要集中在很窄的低灰度级内, 船舶目标对应的像素点集中分布在高灰度级一端, 从而有利于船舶目标与背景之间的图像分割. 另外, 本文利用 Hough 直线检测, 对经过 Top-hat 变换后的图进行海天线检测^[13], 对海天背景进行分割, 减少扫描区域, 进一步提高检测效率; 再利用自适应阈值分割, 转化为二值图像, 检测结果如图 6 所示.

表 2 是传统形态学滤波和本文算法改进后的形态学滤波, 对同一幅图像分别处理后的剩余波纹条数对比, 经改进形态学滤波后的海面波纹明显少于传统算法, 证明该算法对海面背景的抑制效果更好.



传统形态学滤波结果 改进形态学滤波结果

图 6 改进形态学滤波效果比较

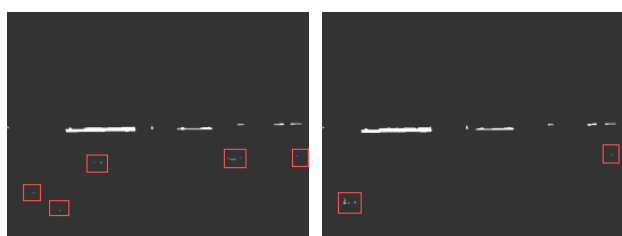
表 2 海面杂波抑制比较

算法	滤波后剩余波纹线条数
传统形态学滤波	>11
改进形态学滤波	<3

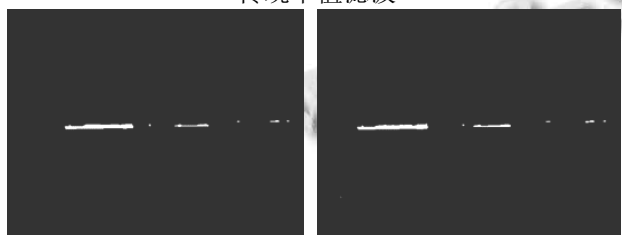
经过形态学滤波之后,仍存在部分背景和噪声没有被抑制,本文采用基于邻域的自适应快速中值滤波算法,与传统中值滤波相比,缩短了算法运行时间,并有效的滤除了背景噪声和海面杂波.表 3 是对两种算法的运行时间的统计.

表 3 两种算法的运行时间比较

算法	运行时间(s)
传统中值滤波	0.265
改进中值滤波	0.086



传统中值滤波



改进中值滤波

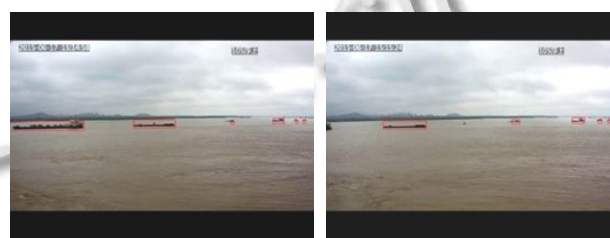
图 7 改进中值滤波效果图

图 7 是传统中值滤波和本文算法改进后的中值滤波对相同的两幅图进行滤波后的效果比较.可见,经过改进的中值滤波,由波浪引起的随机噪声被很好的滤除,同时,船只目标区域中一些不希望的边缘和突

起也被滤除,所获得的轮廓更接近于真实目标.

利用连通域计算目标特征矢量 $V(l, h, r, c)$, 根据多次实验, 设定区域长宽比 $r_{min} = 1.5$, 区域面积 $c_{min} = 3.5$, 考虑到部分海面杂波面积较大, 与远处船舶特征相似, 可能被误认为目标. 因此, 对多帧图像的轮廓个数进行统计并保存, 排除不连续出现的水面杂波对船舶检测结果的影响.

当目标同时满足 $r > r_{min}$, $c > c_{min}$, 且在连续帧内出现时, 被认定为船舶目标, 检测结果如图 8 所示.



第 300 帧

第 500 帧



第 600 帧

第 650 帧

图 8 连续帧检测结果

采用本文算法对港口监控视频中的连续 50 帧图像进行检测, 并分别统计船舶目标的误检率, 以及完成检测所需要的时间, 检测结果如表 4 所示.

表 4 船舶检测结果

	检出数	误检数	漏检数	误检率(%)	运行时间(s)
视频 1	42	1	7	16	9.51s
视频 2	48	0	2	4	8.49s

视频 1 中船舶数量多, 且远处船舶目标对比度太低, 导致误检率相对较高. 从运行时间分析可得, 本文采用的船舶检测方法能够满足视频实时处理的要求.

5 总结

港口船舶的检测方法研究, 对提高港口监控系统的工作效率有重要的实际意义. 针对港口船舶的特点, 本文结合多结构元素的形态学滤波和改进的中值滤波, 有效地抑制了背景图像的噪声, 检测出船舶目标; 同

时,利用连通域计算,排除了海面杂波对船舶目标检测的影响.经实验证明,该方法能有效的检测出目标船舶,并能满足视频处理的实时性要求.本课题未来的研究重点是降低船舶检测的误检率,并实现多艘船舶的同时跟踪.

参考文献

- 1 陈祖爵,俞海滨.基于背景差的码头运动船舶检测.系统仿真学报,2007,19(18):4316-4319.
- 2 滕飞,刘清,朱琳,李静.波纹干扰抑制下内河 CCTV 系统运动船舶检测.计算机仿真,2015,32(6):246-247.
- 3 陈振华,周锐锐,李光伟.一种改进的高斯混合背景模型算法及仿真.计算机仿真,2007,24(11):190-191.
- 4 Zhu C, Zhou H, Wang R, Guo J. A novel hierarchical method of ship detection from spaceborne optical image based on shape and texture features. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 2010, 48(9): 3446-3449.
- 5 薛丽霞,罗艳丽,王佐成.基于帧间差分的自适应运动目标检测方法.计算机应用研究,2011,28(4):1551-1552.
- 6 徐国保,王骥,赵桂艳,尹怡欣,谢仕义.基于数学形态学的自适应边缘检测新算法.计算机应用,2009,29(4):997-998.
- 7 马文伟,赵永强,张国华,揭斐然,潘泉,李国强,刘永进.基于多结构元素形态滤波与自适应阈值分割相结合的红外弱小目标检测.光子学报,2011,40(7):1020-1021.
- 8 张文超,王岩飞,陈贺新.基于 Tophat 变换的复杂背景下运动点目标识别算法.中国图像图形学报,2007,12(5): 871-873.
- 9 Soille P, Talbot H. Directional morphological filtering. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(11): 1313-1315.
- 10 赵高长,张磊,武风波.改进的中值滤波在图像去噪中的应用.应用光学,2011,32(4):679-681.
- 11 张丽,陈志强,高文焕,康克军.均值加速的快速中值滤波算法.清华大学学报(自然科学版),2004,44(9):1157-1158.
- 12 刘亦书,杨力,华孙倩.轮廓矩不变量及其在物体形状识别中的应用.中国图像图形学报,2004,9(3):308-309.
- 13 安博文,胡春暖,刘杰,曹彦珏.基于 Hough 变换的海天线检测算法研究.红外技术,2015,37(3):196-198.