

# 基于纹理特征分割的船闸图像水位检测方法

高能杰,王化明

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

**摘要:** 由于船闸水位检测受船闸图像中墙体的污渍以及水体中的漂浮物影响,提出基于纹理特征分割的船闸图像水位检测方法。针对船闸图像中墙面与水面不同的纹理特征,运用 Gabor 小波变换提取船闸水位纹理特征图像,采集水位线候选点并运用 RANSAC 算法排除外点提取水位线。与现有检测算法对比,该方法的实验结果具有较小的检测误差,误差小于 14 个像素值。

**关键词:** 纹理特征提取; Gabor 小波; 船闸水位检测

**中图分类号:** TP391.41      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1671-5276(2023)02-0177-04

## Waterline Detection of Navigation Lock Images Based on Texture Feature Segmentation

GAO Nengjie, WANG Huaming

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** To eliminate the effect of impurities adhered to the wall and debris floating on the water affecting the waterline detection of navigation lock, this paper proposes a water level detection method based on texture feature segmentation. In light of the different texture characteristics between the water and the wall of ship locks, Gabor wavelet transformation is used to extract the texture feature of the ship lock image, the candidate points of waterline are collected and the RANSAC algorithm is applied to eliminate outlier extraction waterline. To compare with the existing detection algorithms, the proposed algorithm can detect waterline with minor errors less than 14 pixels.

**Keywords:** texture feature segmentation; Gabor wavelet; navigation waterline detection

## 0 引言

在内河航运中,船闸作为沟通水系联系、提高航道等级、改善水流条件的通航建筑物而被广泛地使用。当船舶通行时,运行人员通过操作输水阀门调节闸室水位与上游或下游水位齐平,让闸门内外侧水位差为 0,达到闸门在静水中启闭的工况条件<sup>[1]</sup>。如果在闸室水位与闸室外的水位出现明显水位差时开启闸门,极易造成设备损坏、船舶撞击建筑物和前后船只的安全事故。因此,船闸水位测量是船闸安全运行的一项重要检测内容,闸门两侧的水位保持等高是闸门开启的必要条件。

目前船闸水位检测多使用水位传感器,如压阻式传感器、浮子式传感器、超声波式传感器等,但由于航道内水体浑浊以及船闸室外环境对传感器检测精度的影响,导致基于传感器的水位检测方法存在些许不足,如浮子式传感器需建测井,压阻式传感器易受到水中生物与泥沙的影响,超声波式传感器易受风浪的干扰。针对船闸水位线检测,本文基于船闸水位图像进行船闸水位检测方法的研究。

## 1 相关工作

近年来,针对水位检测的方法很少,相对较多的是针对海平面检测的研究。主要分为基于边缘特征、基于区域特征以及监督学习的方法。

基于边缘特征的方法有:KONG X Y 等<sup>[2]</sup>提出基于 Haar 小波变换的算法对海岸线进行检测,但海岸线监测的环境相对简单。GUI Y 等<sup>[3]</sup>提出基于类间方差信息的海岸线检测,根据图像中不同区域的类间方差信息对海岸线的位置进行初定位,然后采用 RANSAC 算法对初定位海岸线进行精定位,最终得到准确的海岸线。DEL PIZZO S 等<sup>[4]</sup>提出基于边缘检测与霍夫变换结合的地平线检测算法以用于海事活动中船舶姿态的确定。LIU Z W 等<sup>[5]</sup>提出基于 ROI 感兴趣区域的水位检测。通过制作水位区域模板对输入图片进行初步小区域水位预测,然后采用 RANSAC 算法排除噪声区域,对初步预测水位线进行精定位。上述方法都涉及基于梯度变化的边缘检测,因天空或者海面的梯度变化小,易于检测水位线或地平线,但船闸墙体黏附污渍且水面上有漂浮物,图像梯度变化较大,不宜采用上述方法进行水位检测。

基于区域特征的方法有:WEI Y J 等<sup>[6]</sup>运用无人机小艇拍摄的阴影水位图像进行处理,采用本征图像消除阴影的影响,将阴影区域作为前景进行分割,然后通过图像强度通道对水位进行检测。但基于本征图像的方法会导致图像的失真,导致水位线无法检测。LIANG D 等<sup>[7]</sup>提出一种新的鲁棒的海平面检测算法。通过概率分布以及图像物理特征概率定位,采用边缘检测与霍夫变换结合的方法得到候选区域,最后采用新的投票算法对海平面进行精确定位。但船闸水位的墙面与水面存在杂物以及阴影的

影响,导致水位区域定位以及检测的不准确,不适用于船闸水位检测。

监督学习的方法有:STECCANELLA L 等<sup>[8]</sup>提出基于卷积神经网络的低成本水位检测。通过拍摄水位图像搭建数据集对神经网络进行训练后对水位图像进行分割,后对分割图像进行分析,最终确定水位线位置。该方法已实现了对船舶吃水线的检测。AHMAD T 等<sup>[9]</sup>提出无需进行边缘检测的监督学习方法用于地平线检测。通过拍摄地平线图像建立数据集并对天、地进行分类进而得到检测后地平线。由于监督学习需搭建数据集,需要大量的船闸水位图像,工作量大,不适用于船闸水位的检测。

由于船闸水位的环境复杂性,图片中墙体与水面上的杂物导致上述方法不适用于船闸水位检测,本文提出了一种基于纹理特征分割的水位检测方法。

## 2 水位线检测

### 2.1 基于均值漂移的颜色量化

由于船闸水面漂浮杂物、墙体黏附污垢会对水位检测产生干扰,导致检测水位线偏移甚至无法检测。因此需要

在 RGB 图像中对具有相似颜色值的像素进行分类,在降低图像计算复杂度的同时保证足够数量的代表性颜色。

均值漂移算法能够对 RGB 图像中具有相似颜色值的像素进行分类,在降低图像计算复杂度的同时保证图像纹理特征,因此本文采用均值漂移<sup>[10]</sup>方法对去阴影处理后的水位图像进行聚类,以降低船闸图像中杂物对水位检测的影响。作为无监督学习算法,均值漂移无需任何先验知识,能自适应地对图像进行聚类。

待处理图像  $I_\alpha$ , 基于高斯核的均值漂移向量形式定义为

$$M_h(p) = \frac{\sum_{i=1}^n G\left(\left\|\frac{(p_i - p)}{h}\right\|^2\right) \omega(p_i) p_i}{\sum_{i=1}^n G\left(\left\|\frac{(p_i - p)}{h}\right\|^2\right) \omega(p_i)} - p \quad (1)$$

式中:  $p$  为图像  $I_\alpha$  像素点的像素值; 带宽参数  $h = (h_s, h_r)$ , 即空间带宽参数  $h_s$  与颜色带宽参数  $h_r$ 。图 1 所示为不同带宽参数下均值漂移处理结果, 参数过大会导致水位处信息丧失; 参数过小导致过分割, 不易进行纹理特征提取。为保证分割后水位处墙体与水体的纹理信息, 以及保证在其他水位图像中的适用性, 最终选择参数  $h_s = 6, h_r = 5$ 。

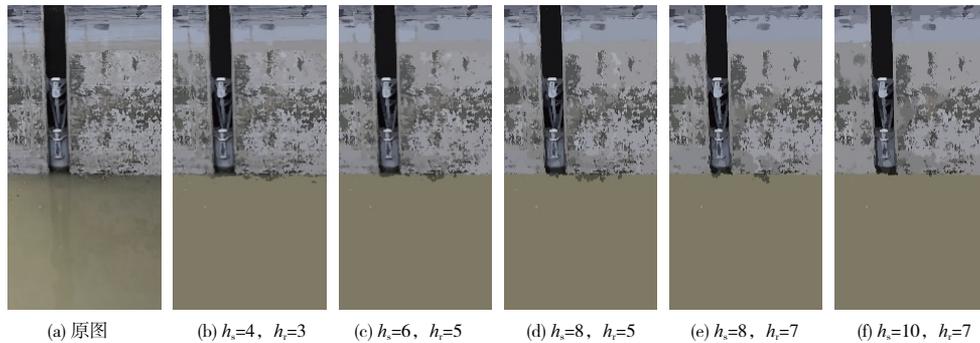


图 1 均值漂移量化分析

### 2.2 纹理特征提取

由于水位图像墙体污垢导致颜色分布不均匀, 基于边缘检测的方法无法适用于船闸的水位检测。鉴于墙体与水面之间存在的纹理差别, 采用基于纹理特征分割的方法对水位线进行提取。

采用 Gabor 小波变换方法针对均值漂移后图像进行纹理特征提取<sup>[11]</sup>。Gabor 滤波是傅里叶变换的改进, 能精确地提取方向和尺度的局部信息。二维 Gabor 滤波器核函数  $g_{u,v}(z)$  的定义为

$$g_{u,v}(z) = \frac{\|k_{u,v}\|^2}{\sigma^2} e^{(-\|k_{u,v}\|^2 \|z\|^2 / 2\sigma^2)} [e^{ik_{u,v} \cdot z} - e^{-\sigma^2 / 2}] \quad (2)$$

式中:  $u, v$  分别为 Gabor 核函数的方向和尺度;  $z = (x, y)$  为图像像素坐标。本文采用 4 个方向 ( $u = 0, 1, 2, 3$ ) 的 Gabor 滤波组对水位图像进行卷积运算:

$$M_{u,v}(z) = M_\alpha * g_{u,v}(z) \quad (3)$$

式中:  $M_\alpha$  为均值漂移后图像;  $M_{u,v}(z)$  为方向  $u$  尺度  $v$  下的 Gabor 特征。通过对卷积运算后的各个方向进行特征融合得到水位 Gabor 滤波图像, 从而得到水位边缘区域的纹

理特征如图 2(b) 圈中所示。



图 2 水位 Gabor 滤波图

### 2.3 水位线提取

针对提取后纹理信息进行灰度化、二值化处理得到图像  $B_g$ 。在船闸水位检测中, 水位线为墙面与水面交界处,

二者都是平面,因此水位线为直线。本文采用 RANSAC 算法<sup>[12]</sup>进行水位线的提取,针对二值图像  $B_g$  自下而上进行水位线候补点的采集,其原理如图 3 所示,直线  $MN$  为排除外点(空心点)后的最优估计直线。

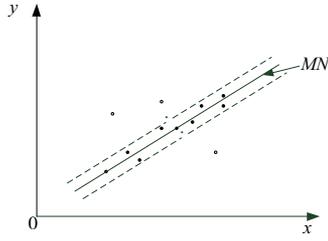


图 3 RANSAC 直线提取

假定排除外点后,内点有  $n$  个。图像中内点的坐标设定为  $(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, n)$ 。定义船闸水位线的直线方程为

$$y = ax + b \quad (4)$$

式中:  $a, b$  值由内点计算优化获得。采用最小二乘的方式对参数  $a, b$  进行优化估计,如下式所示。

$$\sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2 = 0 \quad (5)$$

则参数  $a, b$  的最大似然估计值为

$$\begin{cases} \hat{a} = \frac{K(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{K(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \\ \hat{b} = \frac{(\sum x_i^2)(\sum y_i) - (\sum x_i)(\sum x_i y_i)}{K(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \end{cases} \quad (6)$$

根据上述原理进行迭代优化再对处理后的图像进行检测,得到水位检测结果如图 4 所示。

## 2.4 水位检测结果分析

为减小图像处理的复杂度并提高图像的检测精度,从船闸水位图中截取大小为  $600 \times 1200$  图像进行水位检测,如图 4 所示,图中白线为实际水位线,黄线为本文算法检测线,蓝色为文献[2]算法检测线,红色为文献[4]算法检测线(本刊黑白印刷,相关疑问咨询作者)。为量化分析实验检测结果,本文采用角度误差  $\theta_{error}$  以及位置误差  $D_{error}$  与现有方法进行船闸水位检测对比。角度误差  $\theta_{error}$  以及位置误差  $D_{error}$  的表达方式为

$$\begin{cases} \theta_{error} = |\theta_{CT} - \theta_{Detect}| \\ D_{error} = |D_{CT} - D_{Detect}| \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $\theta_{CT}$  是实际船闸水位线角度;  $\theta_{Detect}$  是算法检测水位线角度;  $D_{CT}$  是实际船闸水位线中心点;  $D_{Detect}$  是算法检测水位线中心点。数据对比如表 1、表 2 所示。

结合表 1、表 2 与图 4 可知,由于水位图像的复杂性,水位图像墙体中的污渍以及水体中的水草等杂质,这些都对检测结果产生影响。图 4(a) 中由于墙体表面具有较强的线性特征以及图像梯度变化的影响,导致依赖于梯度的文献[2]、文献[4]算法的检测结果与实际水位线的距离偏差较为明显;图 4(b) 中墙体中仪器具有明显的线性特征,导致文献[2]、文献[4]中结果偏差较大,而本文方法根据图像中墙体、水面之间明显的纹理差异进行检测;

图 4(c) 中由于墙体表面的线性特征导致文献[2]算法检测结果误差很大,墙面与水位接触的上方区域存在明显梯度变化,导致文献[4]算法检测结果产生偏移;图 4(d) 中由于墙体梯度变化小,文献[4]与本文方法检测结果相差较小,但由于墙体中存在污渍致使其具有边缘特征,导致文献[2]算法检测结果误差很大。通过上述实验对比可知,本文提出方法具有较强的鲁棒性,检测误差小于 14 个像素。



(a)



(b)



(c)



(d)

图 4 船闸水位检测结果

表 1 角度标准偏差  $\theta_{error}$  单位: ( $^{\circ}$ )

图例	$\theta_{CT}$	文献[2]		文献[4]		本文	
		$\theta_{Detect}$	$\theta_{error}$	$\theta_{Detect}$	$\theta_{error}$	$\theta_{Detect}$	$\theta_{error}$
图 4(a)	0.57	0.95	0.38	0	0.57	-0.38	0.95
图 4(b)	0	0	0	0.15	0.15	-0.095	0.095
图 4(c)	-0.38	-0.57	0.19	-6.65	6.27	-0.48	0.10
图 4(d)	0.67	5.33	4.66	0.95	0.28	1.33	0.66

表2 中心位置标准偏差  $D_{error}$ 

图例	文献[2]	文献[4]	本文
图4(a)	661	667	5
图4(b)	659	78	1.5
图4(c)	857	23.5	0
图4(d)	579.5	8.5	13.5

### 3 结语

针对船闸水位图像进行检测,本文提出基于纹理分割的船闸水位检测算法,用于船闸图像的水位线提取。将水位检测问题转换为基于纹理特征分割问题,针对船闸水位图像中墙体与水面之间的纹理特征信息进行分割。

船闸图像水位监测是全天候的水位监测。在光照较为充足的阴影环境下,实验证明本文提出基于纹理特征分割的船闸水位检测方法具有较好的鲁棒性,但对于低光照的阴影环境下的船闸水位图像,现有的水位检测方法检测效果不佳。一方面,低光照阴影环境下船闸水位图像墙体与水面处的线性特征减弱;另一方面,船闸水位图像墙体与水面处纹理特征信息减少。因此,在未来的研究中,将语义分析与水位周围纹理特征信息的结合将是船闸水位检测的一个研究方向。

#### 参考文献:

- [1] 张文珍. 沭新北船闸水位监测系统比选及应用[J]. 治淮, 2020(3):29-30.
- [2] KONG X Y, LIU L, QIAN Y S, et al. Automatic detection of sea-sky horizon line and small targets in maritime infrared imagery[J]. Infrared Physics & Technology, 2016, 76:185-199.
- [3] GUI Y, LIN D S, LIANG S J, et al. A coarse-to-fine horizon detection method based on between-class variance [C]//2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID). Hangzhou, China: IEEE, 2016:376-380.
- [4] DEL PIZZO S, GAGLIONE S, ANGRISANO A, et al. Reliable vessel attitude estimation by wide angle camera [J]. Measurement, 2018, 127:314-324.
- [5] LIUZ W, LUD M, QIAN WX, et al. A method for restraining groscope drift using horizon detection in infrared video [J]. Infrared Physics & Technology, 2019, 101:1-12.
- [6] WEI Y J, DUAN X Y, HE Y Q. Waterline separation in optical images with heavy complicated shadows [C]//2017 IEEE 7th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems. Honolulu, HI, USA: IEEE, 2017:237-242.
- [7] LIANG D, LIANG Y. Horizon detection from electro-optical sensors under maritime environment [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2020, 69(1):45-53.
- [8] STECCANELLA L, BLOISI D D, CASTELLINIA, et al. Waterline and obstacle detection in images from low-cost autonomous boats for environmental monitoring [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2020, 124:103346.
- [9] AHMAD T, BEBIS G, NICOLESCU M, et al. Horizon line detection using supervised learning and edge cues [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2020, 191:102879.
- [10] COMANICIU D, MEER P. MeanShift: a robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5):603-619.
- [11] LIU Y, LIU G D, LIU C Y, et al. A novel color-texture descriptor based on local histograms for image segmentation [J]. IEEE Access, 2019(7):160683-160695.
- [12] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography [J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6):381-395.

收稿日期:2021-10-28