

doi: 10.7690/bgzdh.2020.07.004

融合修正 OTSU 和中值滤波的水上航行器障碍物视觉分割

吴政峰¹, 张政², 袁明新^{1,3}, 娄虎¹, 赵泽钰¹, 戴现今¹

(1. 江苏科技大学苏州理工学院机电与动力工程学院, 江苏 张家港 215600; 2. 中国船舶重工集团公司第七一六研究所产业部, 江苏 连云港 222002; 3. 中科探海(苏州)海洋科技有限责任公司技术部, 江苏 张家港 215600)

摘要: 为进一步提高水上航行器视觉避障时图像分割的精确性, 提出融合修正 OTSU 和中值滤波的水上航行器障碍物图像分割算法。利用修正系数将原始图像从 RGB 模型转换为 Y 、 C_b 、 C_r 色度值修正的模型, 进行修正 OTSU 的阈值分割, 对分割后的二值图像实行自适应中值滤波降噪处理, 并对 3 种水上障碍物识别算法进行测试。结果表明: 与加权 Otsu 算法和改进阈值分割算法对比, 该算法可以将检测目标区域占比稳定在 80% 以上, 并将干扰噪声区域占比降低至 28.5%, 说明算法有效、可行。

关键词: 水上航行器; 障碍物; 视觉分割; 修正 OTUS; 中值滤波

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Visual Segmentation Incorporating Modified OTUS and Median Filtering for Obstacles of a Watercraft

Wu Zhengfeng¹, Zhang Zheng², Yuan Mingxin^{1,3}, Lou Hu¹, Zhao Zeyu¹, Dai Xianling¹

(1. School of Mechanical & Power Engineering, Suzhou Institute of Technology, Jiangsu University of Science & Technology, Zhangjiagang 215600, China; 2. Department of Industry, No. 716 Research Institute, China State Shipbuilding Corporation Limited, Lianyungang 222002, China; 3. Technology Department of T-SEA Marine Technology Co., Ltd., Zhangjiagang 215600, China)

Abstract: In order to further improve the accuracy of image segmentation for visual obstacle avoidance of watercraft, an image segmentation algorithm for watercraft obstacle based on fusion of modified OTSU and median filter (VSAIMOAMF) is proposed. The original image is transformed from RGB model to Y , C_b , C_r chroma value modified model by using correction coefficient. The threshold segmentation of modified OTSU is carried out. The segmented binary image is processed by adaptive median filtering and noise reduction. Three water obstacle recognition algorithms are tested. The results show that, compared with the weighted Otsu algorithm and the improved threshold segmentation algorithm, the algorithm can stabilize the proportion of the detection target area to more than 80%, and reduce the proportion of the interference noise area to 28.5%, which shows that the algorithm is effective and feasible.

Keywords: watercraft; obstacle; visual segmentation; modified OTUS; median filtering

0 引言

视觉是水上航行器导航时所采用的主要方式之一。由于水上目标多样性, 且易受天空、水纹等背景光照变化影响, 如何提高水上目标分割的精确性一直是研究的热点和难点。茅正冲等^[1]通过 HSI 颜色空间 H 分量提取, 通过二值化等处理提取目标特征; 叶聪颖等^[2]采用对差异特征图的规格化和线性融合实现波浪抑制; 汪澜等^[3]针对反射光干扰图像, 提出了新色彩模型下改进分水岭算法; 张润鑫等^[4]利用最大类间方差算法对水上目标双阈值分割, 并通过闭运算去除图像空洞, 实现分割优化; 韩佳颖等^[5]在 HIS 色彩模型下实现了基于 SURF 特征原理的水面障碍物特征点提取, 并基于多类约束实现匹

配点筛选和有效匹配。上述视觉分割主要基于色彩模型为处理依据, 对于图像中目标灰度值与背景相接近的分割具有一定偏差, 处理后的图像留有一定的噪声干扰。为此, 笔者提出修正 OTSU 来对 YCbCr 色彩模型下的图像进行视觉处理, 并利用自适应中值滤波降低二值化图像噪音, 从而进一步提高水面障碍物目标提取的准确性。

1 YCbCr 色彩模型转换

水上航行器所获取的水上障碍物图像通常是 RGB 格式^[6]。该格式将色调、亮度和饱和度 3 个分量放在一起表示, 受光照条件影响较大。而 YCbCr 色彩模型^[7]具有独立亮度信息和色度信息, 更适合于不同光照和水纹下的目标视觉分割。笔者以

收稿日期: 2020-02-20; 修回日期: 2020-04-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(61105071); 张家港市产学研预研基金项目(2018zjgcy026)

作者简介: 吴政峰(1998—), 男, 江苏人, 学士, 从事机器人导航技术、图像处理研究。E-mail: 928722370@qq.com。

YCbCr 色彩模型作为水上障碍物图像视觉分割的色彩模式。RGB 色彩模式转化为 YCbCr 色彩模型的关系如下式所示：

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.257 & 0.504 & 0.098 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \\ 0.456 & -0.368 & -0.071 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}。 (1)$$

其中 Y 、 Cb 和 Cr 是 YCbCr 色彩模型的色度值，分别对应亮度、蓝色色度和红色色度信息。由于水面光照、水纹等变化较大，为了获得更好的转换效果，笔者对 YCbCr 色彩模型中各色度值按式(2)进行修正。为了抑制光照和水纹的影响，应最小化亮度 Y 的修正系数 α 。为避免天空及水波纹等干扰因素蓝色色度的影响，蓝色分量 Cb 的修正系数 β 应取较小值，且小于红色分量 Cr 的修正系数 γ ，即满足式(3)。基于此，经多组测试分析，文中 α 、 β 、 γ 的取值最终分别为 0.110, 0.235, 0.655。图 1(a)、(b)分别为水上常见障碍物——桥洞和芦苇的原始 RGB 图，基于式(1)、式(2)转换后得如图 1(c)、(d)所示的 YCbCr 修正图像。由图可以看出：经 YCbCr 色度值修正，水上障碍物与背景之间的差异变得更加明显，对随后阈值选取更有利。

$$pImage = (\alpha \cdot Y + \beta \cdot Cb + \gamma \cdot Cr) / \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}; (2)$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \cap \alpha < \beta < \gamma。 (3)$$

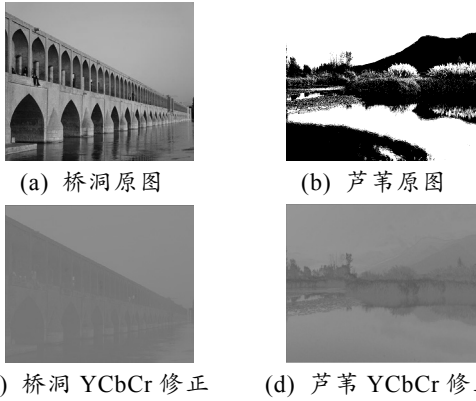


图 1 色彩模型转换

2 OTSU 分割

2.1 OTSU 分割方法

在获得修正处理后的水上障碍物 YCbCr 图像后，将其灰度等级设为 L ，取值范围为 $[0, 255]$ ，像素总数为 N ， n_i 是像素为 i 的总像素数，则其概率为

$$P(i) = n_i / N。 (4)$$

从 $[0, 255]$ 内确定一个将图像分为 2 部分的阈值 t ：目标和背景，分别对应 C_0 和 C_1 ，并计算目标和

背景像素灰度的类间方差^[8]。类间方差值越大，图像中目标和背景分割就越明显。其中， C_0 类的灰度范围为 $[0, t]$ ， C_1 类的灰度范围为 $[t+1, L-1]$ ，则 C_0 和 C_1 占总像素数的比例 ω_0 和 ω_1 分别为：

$$\omega_0(t) = \sum_{i=0}^t P(i); (5)$$

$$\omega_1(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} P(i)。 (6)$$

C_0 和 C_1 类的灰度均值 $\mu_0(t)$ 和 $\mu_1(t)$ 分别为：

$$\mu_0(t) = \sum_{i=0}^t i \cdot P(i) / \omega_0(t); (7)$$

$$\mu_1(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} i \cdot P(i) / \omega_1(t)。 (8)$$

图像总灰度均值 $\mu(t)$ 为

$$\mu(t) = \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot P(i) = \omega_0(t) \mu_0(t) + \omega_1(t) \mu_1(t)。 (9)$$

2 类类间方差 $\sigma^2(t)$ 为

$$\sigma^2(t) = \omega_0(t) (\mu_0(t) - \mu(t))^2 + \omega_1(t) (\mu_1(t) - \mu(t))^2。 (10)$$

当 $\sigma^2(t)$ 为最大时对应 t 值为理想阈值 T ，即

$$\sigma^2(T) = \max(\sigma^2(t))。 (11)$$

式中， $\max(\bullet)$ 是计算最大值的函数， t 取 $[0, L-1]$ 。

2.2 修正 OTSU 分割方法

大多数情况下，基本 OTSU 分割算法可以获得较好的分割效果，但是目标像素在总像素的占比与背景像素在总像素的占比有较大偏差。此外，当干扰特征像素占总像素比的 20% 或更多时，处理效果会存在一定误差。通过对图 1(d) 执行基本 OTSU 算法，可以获得对应阈值分割直方图和分割效果图，如图 2(a)、(b) 所示。由直方图可以看出：芦苇目标区域和背景区域分别对应左右峰体，理想分割阈值应位于两峰体间的峰谷处；因为图 1(d) 的总像素中目标区域占比远小于背景区域占比，如山、植被等干扰因素；因此，当采用类间方差的最大方差时，所得阈值 T 与峰谷处对应阈值有一定的误差。从处理所得的图 2(b) 可以看出，图像中灰度值接近目标的一些山脉和水纹也被误识别，基本 OTSU 算法需要提高水上目标视觉分割精确性。为了解决上述不足，笔者提出了修正 OTSU 阈值选取方法如下：

$$\sigma^2(t) = (\alpha_0 \omega_0(t) + \beta_0) (\mu_0(t) - \mu(t))^2 + (\alpha_1 \omega_1(t) + \beta_1) (\mu_1(t) - \mu(t))^2。 (12)$$

当处理区域的目标区域和背景中的一个像素所占的比率大于另一个的 ε 倍时,对具有较大占比的区域执行系数修正。当 $\omega_0 < \varepsilon \omega_1$ 时,调整 α_0 和 β_0 , α_0 和 β_0 的取值范围为 $(1, +\infty)$, 而 α_1 取值为 1, β_1 取值为 0, 较好地减少了 $(\mu_1(t) - \mu(t))^2$ 引起的 $\sigma^2(t)$ 增长; 因此, 当使用类间方差的最大值时, 通过调整系数来修正阈值, 能使相应灰度值 T 与理想值之间的偏差减小。这里 ω_0 和 ω_1 相差倍数 ε 取值范围设定在 $(4, +\infty)$ 。修正系数 $\alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1$ 的值视干扰像素多少而定, 当介于目标像素与背景像素之间的像素值之和过大时, 以调整 α_0, α_1 为主; 否, 则以调整 β_0, β_1 为主。由于水上障碍物和干扰因素的多样性, 基本 OTSU 会得到误差较大的阈值导致误分割。基于修正 OTSU 进行图 1(d) 分割所得阈值 T 如图 3(a) 所示, 更接近对应于直方图底部的理想分割阈值。对比分割后获得图 3(b), 对于具有相近灰度值的背景和目标区域的图像, 修正 OTSU 阈值选择精度明显高于基本 OTSU 算法。

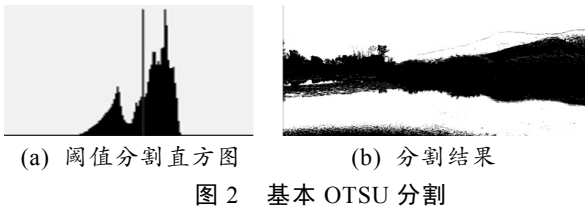


图 2 基本 OTSU 分割

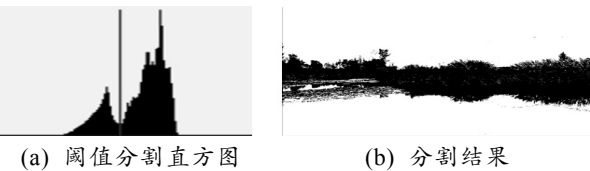


图 3 修正 OTSU 分割

3 自适应中值滤波

水上航行器若仅参考颜色特征进行障碍物视觉分割, 会受光照、水纹和植被等因素影响。虽然几何特征识别^[9]可以抑制灰度值与目标像素值相近的噪声, 但由于水上障碍物的不唯一性和背景图像多样性, 寻找图像目标与背景几何特征差异并不适用; 因此, 笔者利用中值滤波抑制图像噪音。

3.1 中值滤波

中值滤波^[10]是选择预处理区域中每个邻域的总像素中值以替换预处理区域的像素值, 与均值滤波相比, 区域像素值与邻域更接近, 在抑制噪声的同时还可以更好地保护目标边缘细节。

3.2 自适应中值滤波

中值滤波效果受滤波窗口尺寸影响较大: 当尺

寸较小时, 中值滤波能很好地保护目标边缘细节, 但对噪声过滤效果不是很好; 当尺寸较大时, 中值滤波能较好地抑制噪声, 但目标会变模糊。根据中值滤波原理可知, 中值滤波无法较好地处理给定窗口内目标像素总和少于区域内噪声总和的情况。自适应中值滤波器也具有矩形窗口, 根据下面描述的比较条件的变化而改变特定滤波器窗口大小。

设滤波窗口中像素最大灰度值为 n_m , 最小灰度值为 n_n , 平均灰度值为 n_a , 则灰度值范围为 $[n_n, n_m]$ 。当 $n_a - n_n < 0$ 且 $n_a - n_m > 0$ 时, 平均灰度值不在灰度值范围内, 属于噪声, 增大滤波窗口且最大到 7×7 窗口, 若依旧不满足, 则取平均值 n_a 为中值; 当 $n_a - n_n > 0$ 且 $n_a - n_m < 0$ 时, 调整当前滤波窗口大小, 实行常规中值滤波。

图 4 给出了不同芦苇荡的不同中值滤波结果。使用 3×3 窗口中值滤波后, 图像边缘明显存在较多噪声如图 4(a), 而使用 5×5 窗口中值滤波后目标变得模糊, 具体边缘细节明显钝化如图 4(b)。图 4(c) 是基于自适应中值滤波的测试效果, 不仅消除了图像噪声, 而且有效地保存了目标边缘细节。



图 4 中值滤波测试效果

4 水上障碍物识别算法测试

为了验证文中算法 (VSAIMOAMF) 的有效性, 针对芦苇、桥洞和船舶 3 种障碍物, 对超过 40 个水上障碍物进行了性能检测, 并将测试结果与基于目标方差加权的 Otsu 分割算法^[11] (Otsu segmentation algorithm based on weighted target variance, OSAWTV) 和基于改进 Otsu 阈值分割算法^[12] (improved Otsu threshold segmentation algorithm, IOTSA) 进行了比较。比较参数指标为目标区域占比和干扰区域占比, 其定义如下:

$$\text{目标占比} = \text{Num}_I / \text{Num}_K \times 100\%; \quad (13)$$

$$\text{干扰占比} = \text{Num}_J / \text{Num}_K \times 100\%. \quad (14)$$

式中: Num_I 表示分割出来并属于原始图像水上障碍物的像素数; Num_J 表示错误检测到不属于水上障碍物原始图像中像素的数量; Num_K 表示原图像水上障碍物的像素数。

表 1 为 3 种算法识别效果的对比。从表中可以看出: 文中 VSAIMOAMF 算法与其他 2 种算法相

比, 具有最低的干扰区域和较高的目标区域检出占比; IOTSA 算法的目标区域占比虽然最高, 但其干扰区域占比高于 VSAIMOAMF 和 OSAWTV 算法; OSAWTV 算法响应时间最快, 但其平均目标区域占比低于 VSAIMOAMF 和 IOTSA 算法; VSAIMOAMF 算法由于进行了色彩模式转换使目标与背景的差异

更明显, 有效降低了光照条件影响, 从而保证了修正 Otsu 阈值选取的准确性, 有效降低相近干扰灰度值的占比, 响应时间也只比 IOTSA 算法慢大约 1.2 s。以上测试结果表明: VSAIMOAMF 算法有较高的水上障碍物识别精度, 在不同光照和水纹条件下实现了较高的检测效果和较低的图像误检测效果。

表 1 3 种算法的识别性能对比

算法	目标区域占比/干扰区域占比			平均/%	响应时间/s
	桥洞/%	芦苇/%	船舶/%		
OSAWTV	75.1/21.0	70.5/>100	83.4/22.0	76.3/>76.3	1.4
IOTSA	78.6/>100	80.4/>100	91.2/>100	83.4/>100	1.9
VSAIMOAMF	80.1/44.0	79.8/22.0	88.1/19.6	82.7/28.5	2.6

图 5 给出了水上航行器视觉避障时的 3 种不同障碍物的原图像和 3 种算法的处理结果。由图可以看出: OSAWTV 算法识别的障碍物区域像素较少, 不能有效抑制水纹和光照的影响。IOTSA 算法在目标颜色和背景颜色相似条件下具有较低的分割精度, 且性能不如 VSAIMOAMF 算法。VSAIMOAMF 算法分割的目标图像具有较为完整的检测区域和较小的干扰区域, 图像边缘噪声较小, 进一步证明了文中算法的有效性。

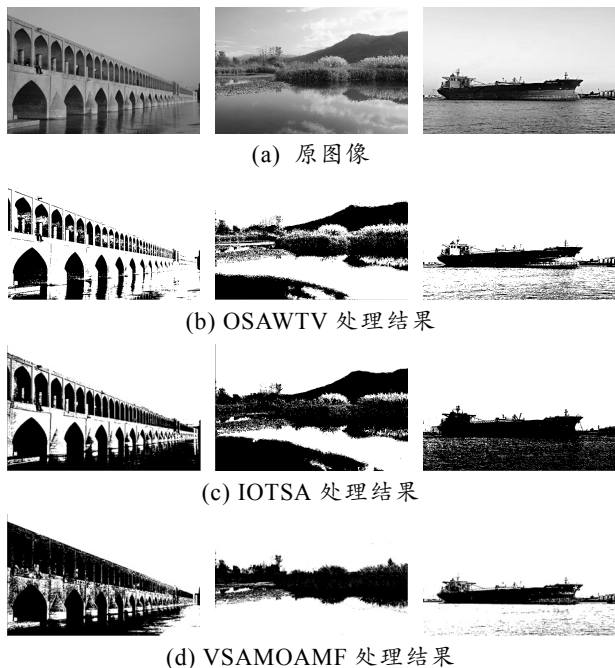


图 5 3 种算法的实验结果

5 结束语

为解决水上航行器视觉避障过程中因为水上目标多样性、水纹、光照等因素给图像识别带来的影响, 笔者提出了一种融合修正 OTUS 和中值滤波的水上障碍物视觉图像分割算法。大量图像测试结果表明:

1) 对视觉目标 YCbCr 色度值进行系数修正, 能有效抑制水纹和光照对图像识别的干扰;

2) 提出的修正 OTUS 阈值分割算法, 有效地提高了目标和背景颜色相近条件下的分割精度;

3) 利用自适应中值滤波有效地降低了目标边缘噪声, 提高了不同水上障碍物的分割效果。

参考文献:

- [1] 茅正冲, 孙雅慧. 基于 HSI 空间的玉米雄穗识别算法[J]. 传感器与微系统, 2018, 37(9): 117-119.
- [2] 叶聪颖, 李翠华. 基于 HSI 的视觉注意力模型及其在船只检测中的应用[J]. 厦门大学学报, 2005, 44(4): 484-488.
- [3] 汪澜, 张慧, 张海涛. 结合新颜色空间与 Otsu 的分水岭彩色图像分割算法[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(12): 3873-3879.
- [4] 张润鑫, 吴文波, 陈瑞明, 等. 基于组合特征的航母目标识别方法[J]. 航天返回与遥感, 2018, 39(2): 126-132.
- [5] 韩佳颖, 周楠. 基于双目视觉的水面障碍物识别算法[J]. 数字技术与应用, 2018, 36(5): 140-141.
- [6] 黄国祥. RGB 颜色空间及其应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2002: 2-4.
- [7] 杨红玲, 宣士斌, 莫愿斌, 等. 基于 YCbCr 颜色空间手势分割[J]. 广西民族大学学报, 2017, 23(3): 61-66.
- [8] 孙璐, 陈洪海. 最大类间方差法在图像分割中的应用[J]. 煤炭技术, 2008, 27(7): 144-145.
- [9] 林水强, 吴亚动, 陈永辉, 等. 基于几何特征的手势识别方法[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(2): 636-640.
- [10] 耿帅, 王希常. 一种基于中值滤波的图像去噪算法[J]. 计算机与现代化, 2011, 27(11): 90-92.
- [11] 袁小翠, 吴禄慎, 陈华伟. 基于 Otsu 方法的钢轨图像分割[J]. 光学精密工程, 2016, 24(7): 1772-1781.
- [12] 唐阳山, 张贵洋, 田鹏, 等. 基于改进 Otsu 阈值分割的车道线分割方法[J]. 辽宁工业大学学报, 2016, 36(2): 113-116.