

基于多方法融合的淡水水域常见藻类检测与识别

张文漪, 朱 虹, 聂凤翔, 张佳俊

(大连东软信息学院计算机与软件学院, 辽宁 大连 116023)

✉ zhangwenyi01@outlook.com; zhuhong@neusoft.edu.cn; a1748355368@outlook.com; 1282947838@qq.com



摘 要:针对同种藻类形态各异、藻类相似性高、采集图像中存在气泡和杂质等带来的检测与识别准确率低的问题,提出了基于多方法融合的淡水水域常见藻类检测与识别算法。首先利用颜色信息识别藻类图像的背景颜色,为不同颜色背景的图像选择最佳的预处理与分割方法;其次使用基于形状参数、尺度不变特征变换-快速近似最近邻查找(SIFT-FLANN)、方向梯度直方图-支持向量机(HOG-SVM)的多方法融合的藻类检测与识别算法,以提高识别的准确率和鲁棒性。对25种常见的藻类进行实验与对比,其中常见的10种藻类的平均检测成功率为96.07%,对鱼腥藻、针杆藻的识别准确率较高,分别达到了100.00%与99.50%,验证了该算法对常见藻类的检测与识别具有一定的鲁棒性。

关键词:藻类检测与识别; SIFT-FLANN; HOG-SVM

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Detection and Recognition of Common Freshwater Algae in Aquatic Environments Based on the Fusion of Multiple Methods

ZHANG Wenyi, ZHU Hong, NIE Fengxiang, ZHANG Jiajun

(Computer and Software School, Dalian Neusoft University of Information, Dalian 116023, China)

✉ zhangwenyi01@outlook.com; zhuhong@neusoft.edu.cn; a1748355368@outlook.com; 1282947838@qq.com

Abstract: Aiming at the problems of low detection and recognition accuracy caused by the diverse morphology of the same type of algae, high similarity of algae, and the presence of bubbles and impurities in the collected images, this paper proposes a common algae detection and recognition algorithm in freshwater based on the fusion of multiple methods. Firstly, color information is used to identify the background color of algae images, allowing for the selection of optimal preprocessing and segmentation methods for images with different background colors. Secondly, a multi-method fusion algae detection and recognition algorithm based on shape parameters, Scale Invariant Feature Transform-Fast Library for Approximate Nearest Neighbors (SIFT-FLANN), and directional gradient Histogram-Support Vector Machine (HOG-SVM) is used to improve the accuracy and robustness of recognition. Through experiments and comparisons conducted on 25 common algae, an average detection success rate of the 10 common algae is 96.07%, and the recognition accuracy rate for *Anabaena* and *Synedra* is high, reaching 100.00% and 99.50%, respectively, verifying that the proposed algorithm has a certain degree of robustness for the detection and recognition of common algae.

Key words: algae detection and recognition; SIFT-FLANN; HOG-SVM

0 引言 (Introduction)

水质监测是开展水生态环境评价、监管的基础性工作之一^[1],对淡水水域中常见藻类的检测与识别,可以有效反映出该地区的水质情况。

目前,藻类的检测方法都需要大量的人工参与,例如王璐等^[2]将统计分布的方法与可变荧光法相结合,通过可变荧光分布参数定量分析藻类活体细胞数;郑琳琳等^[3]采用一定规则的视野计数法优化验证显微镜法对水中藻类计数及分类的测定,对检测人员的专业知识要求高且检测效率低。因此,国内外很

多学者在用计算机代替人工来检测常见水藻的方向上进行了深入的探索。例如, SAMANTARAY 等^[4]提出了一种基于深度学习的藻类监测计算机视觉系统; 胡圣等^[5]采用单阶段实时检测算法 YOLOv3, 实现对浮游藻类图像的识别和计数; QIAN 等^[6]提出多目标深度学习框架的藻类检测和分类方法。

虽然上述研究均获得了一定的成果, 但是仍存在同种藻类形态各异、藻类相似性高、采集图像中存在气泡和杂质等带来的检测与识别准确率低的问题。因此, 本文提出了基于多方法融合的淡水水域常见藻类检测与识别算法。针对不同的背景颜色, 采用不同的预处理与分割方法, 融合形状与纹理特征, 实现了对常见藻类的准确检测与识别。

1 算法流程 (Algorithm flow chart)

针对藻类数据样本种类繁多且数据集分布不均匀的问题, 本文提出了基于多方法融合的检测与识别算法。该算法的具体实现过程如下: 首先, 对图像进行预处理, 利用颜色信息识别该图像的背景颜色, 对不同背景颜色的图像进行去噪与增强操作, 增强水藻区域的视觉效果和表现能力, 为后续图像感兴趣区域的分割操作做铺垫; 其次, 利用不同图像分割方式得到感兴趣的水藻区域, 降低背景区域信息的干扰, 使用形状参数、SIFT 和 HOG 进行特征提取, 精确地对水藻区域特征进行表达; 最后, 融合基于形状参数的识别算法、基于 FLANN 匹配的识别算法、基于 SVM 的分类算法完成对常见藻类的识别, 并对识别结果进行框选与标注。本文算法流程如图 1 所示。

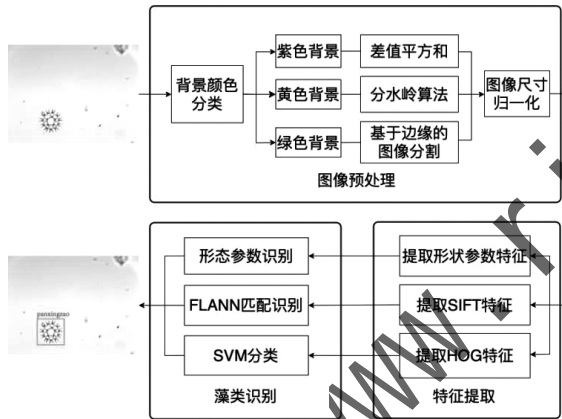


图 1 本文算法流程

Fig. 1 Algorithm flow chart

1.1 图像预处理

本研究使用的藻类显微镜下的图像数据集包括紫色、黄色、绿色 3 种背景颜色, 在后续图像分割过程中, 不同背景颜色的图像会使用不同的方法进行分割, 得到准确的分割结果。因此, 本研究使用颜色信息识别当前图片的背景颜色, 设当前图像的 r 、 g 、 b 通道中 b 通道总和为 B , r 通道总和为 R , 具体判断依据如下。

(1) 若满足 $B < 100\ 000$, 则认为该图像为紫色背景。

(2) 若满足 $B < 30\ 000$ 且 $R < 19\ 000$, 则认为该图像为黄色背景。

(3) 若满足 $B < 10\ 000$ 或 $B < 30\ 000$ 且 $R > 19\ 000$, 则认为该图像为绿色背景。

判断出输入图像的背景颜色后, 为达到最佳预处理效果, 本研究针对不同背景颜色的图像采用不同的预处理方法, 具体

预处理过程如下。

(1) 对于紫色背景图像, 藻类与背景颜色差异较大, 后续可利用颜色信息准确地分割出藻类区域, 因此保持颜色空间不变。

(2) 对于黄色背景图像, 因为黄色图像中的杂质较多, 所以将彩色图像转化为灰度图像, 通过高斯低通滤波, 可以有效消除图像中的高频噪声对后续图像分割的影响。

(3) 对于绿色背景图像, 藻类颜色与背景颜色差异较小且图像中噪声较少, 因此将彩色图像转化为灰度图像, 然后通过高斯高通滤波增强藻类边缘信息。

1.2 水藻区域分割

由于不同背景颜色很难采用相同的图像分割方法得到准确的感兴趣区域。因此, 本研究根据上述预处理的颜色判别结果, 对于不同背景颜色的图像使用了不同的方式进行图像分割, 通过实验找到对应背景颜色的最佳图像分割方法。具体分割方案如下。

(1) 对于绿色背景图像, 首先采用 Canny 算子提取水藻的边缘信息, Canny 算子通过调整高、低阈值可以避免噪声的影响并提高检测准确度; 其次利用数学形态学对孔洞进行填补, 去除噪声的干扰。绿色背景算法分割效果如图 2 所示。

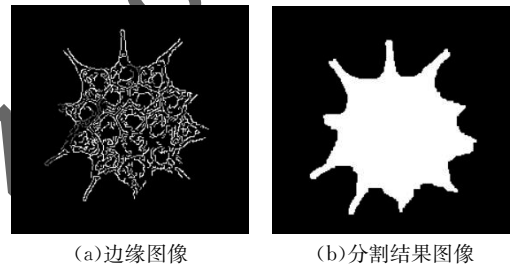


图 2 绿色背景算法分割效果

Fig. 2 Segmentation effect of the green background algorithm

(2) 对于黄色背景图像, 采用分水岭算法^[7]对水藻区域进行分割, 其中高灰度值的像素相当于山峰, 而低灰度值的像素则是山谷。该算法利用图像的梯度信息将图像分割成具有明显区域特征的局部极小值区域。通过对每个像素进行泛洪填充, 从不同的局部极小值区域开始填充像素并分配相应的分水岭标签, 最终将整个图像分为不同的分割区域。分水岭算法泛洪效果如图 3 所示。

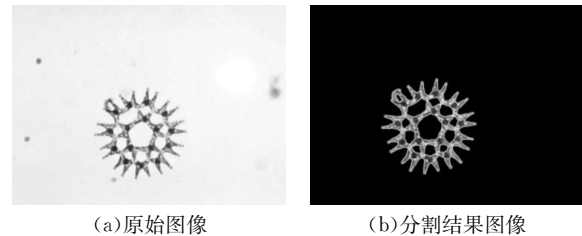


图 3 分水岭算法泛洪效果

Fig. 3 Flood effect of watershed algorithm

(3) 对于紫色背景图像, 由于前景的颜色与背景的颜色信息差异较大, 因此本研究采用基于 r 、 g 、 b 三个通道的当前像素值 r_{cur} 、 g_{cur} 、 b_{cur} 与先验背景像素值 r_{bg} 、 g_{bg} 、 b_{bg} 的差值平方和作为二值化的依据, 从而完成水藻区域的分割。其中, 先验背景像素值是根据图像特点, 取图像左上 P_{ul} 、左下 P_{ll} 、右上 P_{ur} 和右下 P_{lr} 的 4 点求平均值, 其计算公式如下:

$$P_{bg} = (r_{bg}, g_{bg}, b_{bg}) = (P_{ul} + P_{ll} + P_{ur} + P_{lr}) / 4 \quad (1)$$

计算当前像素点 $P_{cur} = (r_{cur}, g_{cur}, b_{cur})$ 与先验背景像素值的差值平方和,具体实现公式如下:

$$Diff = [(r_{cur} - r_{bg})^2 + (g_{cur} - g_{bg})^2 + (b_{cur} - b_{bg})^2]^2 \quad (2)$$

将 $Diff$ 与最佳阈值 Th 进行比较,当 $Diff$ 大于 Th 时,说明当前像素值与背景差异较大,则认为该像素点为前景区域,将其置为白色;反之,则认为是背景区域,将其置为黑色。经过实验得出 $Th = 2\ 700$ 时的分割效果较好。紫色背景算法分割效果如图 4 所示。

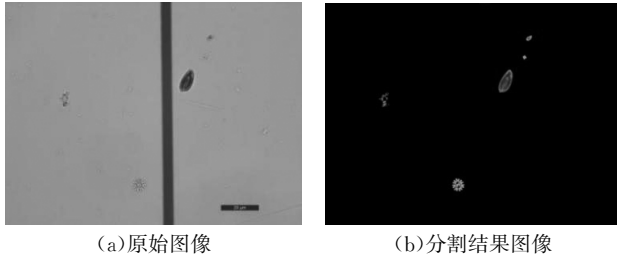


图 4 紫色背景算法分割效果

Fig. 4 Segmentation effect of the purple background algorithm

1.3 水藻特征提取

对上述图像进行分割得到的感兴趣水藻区域,首先将其大小统一为 80×80 ;其次进行灰度化处理,图像中水藻区域的灰度值偏低,背景灰度值偏高,进而采用幂次变换对低灰度级进行拉伸,扩大水藻区域的灰度范围,具体公式如下:

$$s = c \times r^\gamma \quad (3)$$

其中: r 为灰度图像的输入值; s 为经过伽马变换后的灰度输出值; c 为灰度缩放系数; γ 为伽马值,本研究设定为 0.8。对处理后的感兴趣区域提取形状与纹理特征,本算法分别使用了三种方法进行特征描述:(1)形状特征,使用直边界矩形的长宽比、最小面积和圆形度^[8]描述;(2)SIFT 特征^[9];(3)HOG 特征^[10]。

1.4 基于多方法融合的淡水水域常见水藻检测与识别

在藻类的检测与识别问题中,仅使用单一算法无法满足对所有藻类准确识别的要求,因此本文提出了一种基于多方法融合的检测与识别算法。创建投票机制,融合三种不同方法的识别结果,从而得到最终的识别结果,以降低单一分类器错误分类的影响,提高整个算法的准确率和鲁棒性。

本文采用的三种算法分别为基于形状参数的识别算法、基于 SIFT-FLANN 匹配的识别算法、基于 HOG-SVM 的分类算法。在整个投票机制中,会对上述三种算法的识别结果进行统计,当票数达到两票及以上时,即可确认藻的类别;否则,以基于 HOG-SVM 的分类结果为最终检测结果。

1.4.1 基于形状参数的识别算法

根据对上述形状参数的计算,判断当前图像的形状,具体判断条件如下。

(1)根据圆形度是否趋近于 1,对小环藻等近似圆形的藻类进行筛选。

(2)根据圆形度与面积相结合的方式去除载玻片中未完全排除的小气泡。

(3)根据直边界矩形的长宽比与轮廓面积相结合的方式去除图像中显微镜的细胞计数板。

具体可依据每种藻类的形状调整上述判断条件的阈值,从而完成对水藻的粗识别。

1.4.2 基于 SIFT-FLANN 匹配的识别算法

SIFT 算法可提取图像中的特征点信息,FLANN 特征匹配是一种基于近似最近邻查找库的特征点匹配算法,在本算法中将 SIFT 与 FLANN 相结合,利用树结构实现高效的特征点匹配。SIFT-FLANN 匹配的识别算法能更好地应用于大规模图像数据的特征点提取和匹配。

具体而言,SIFT-FLANN 算法首先以树根作为查询点,通过贪心法寻找相邻分支;其次使用与查询点距离最近的树叶上的 $k-1$ 个叶节点更新查询点邻域。FLANN 特征匹配算法支持使用不同的距离度量,如欧氏距离、曼哈顿距离等。本研究使用欧氏距离计算 FLANN 特征匹配算法中查询点(Query Point) Q 与数据库中的特征点(Database Points) P 之间的欧氏距离,具体公式如下:

$$d(Q, P) = \sqrt{(Q_1 - P_1)^2 + (Q_2 - P_2)^2 + \dots + (Q_n - P_n)^2} \quad (4)$$

其中: n 为特征向量的维数, Q 和 P 中的每个分量 Q_i 和 P_i 表示特征向量在第 i 个维度上的分量。

1.4.3 基于 HOG-SVM 的分类算法

HOG 特征可以提取目标物体的形状、边缘等信息。支持向量机(SVM)是机器学习领域中常用且效果最好的一种分类识别算法。相对于神经网络等分类算法,支持向量机的优化目标是结构化风险最小,而不是经验风险最小,使其具有了优秀的泛化能力和鲁棒特性,避免了过拟合、神经网络结构选择和局部最优等问题^[11]。因此,将 HOG 特征和 SVM 分类器结合使用^[12],可以提高算法的准确性、鲁棒性和可解释性,并且可以加速训练和分类速度。

在 HOG-SVM 算法中,将多分类问题分解为多个二分类问题,将每一个类别看作一类,其他类别看作一类,形成多个二分类问题,将得到的多个分类器组合起来,进而对图像进行分类,最终保留置信度最高的分类结果作为基于 HOG-SVM 算法的分类结果。

2 实验结果与分析 (Experimental results and analysis)

本实验采用的硬件环境为 CPU Intel(R) Core(TM) i7-10750H CPU @ 2.60 GHz,开发环境为 Python 3.6 与 OpenCV 3.4。数据集通过光学显微镜人工目视和拍照观察等手段采集,包括蓝藻门藻属 4 个、硅藻门藻属 8 个、隐藻门藻属 1 个、甲藻门藻属 2 个、金藻门藻属 1 个、裸藻门藻属 2 个、绿藻门藻属 7 个,共 25 种藻类、807 张图像,包含相似藻类、不同背景颜色的藻类图像、形态各异的同种藻类,检测与识别还受气泡与微生物干扰等多种挑战。

为了验证本算法的有效性,将本文算法与对比算法在常见的 25 种藻类数据集上进行了实验与对比,表 1 展示了其中 10 种常见藻类的识别准确率。在表 1 中,算法 1 表示仅用基于形状参数的识别算法,算法 2 表示仅用基于 SIFT-FLANN 匹配的识别算法,算法 3 表示仅用基于 HOG-SVM 的分类算法。

根据表 1 可知,对于常见的 10 种藻类,算法 1 的平均识别准确率为 57.77%,算法 2 的平均识别准确率为 76.44%,算法 3 的平均识别准确率为 86.58%,本文提出的算法的平均识别准确率为 96.07%,高于算法 1、算法 2 与算法 3(分别高出 38.30%、19.63%、9.49%),其中对鱼腥藻、针杆藻的识别准确率分别达到了 100.00%、99.50%。可见,本文提出的算法相较

于单一识别算法,能更好地检测与识别目标藻类,也具备更高的准确率,能满足用户对常见藻类的检测与识别需求。

表1 常见的 10 种藻类的识别准确率

Tab.1 Recognition accuracy of the 10 common algae species				
常见淡水藻类	算法 1/%	算法 2/%	算法 3/%	本文算法/%
针杆藻	81.00	86.50	95.50	99.50
舟形藻	47.05	73.52	67.64	91.17
小环藻	41.79	74.26	85.60	94.92
脆杆藻	63.52	70.58	81.17	94.11
色球藻	70.23	77.38	95.23	98.80
隐藻	35.09	75.96	90.86	96.15
鱼腥藻	88.46	95.38	98.46	100.00
尖头藻	28.97	77.57	89.71	96.26
卵囊藻	40.00	70.00	80.00	97.95
直链藻	81.63	63.26	81.63	91.83
平均值	57.77	76.44	86.58	96.07

图 5 展示了本文提出的算法对常见藻类的识别结果。其中:图 5(a)展示了相似藻类的识别效果,可见本文提出的算法在藻类形状及纹理特征极其相似的情况下,仍然能够准确地识别出其种类;图 5(b)展示了包含较多气泡、沙砾等杂质图像的识别效果;图 5(c)和图 5(d)展示了不同背景颜色下舟形藻的识别效果,可见针对不同背景颜色的藻类图像,本文提出的算法具有较强的鲁棒性;图 5(e)和图 5(f)展示了不同形态小环藻的识别效果。通过以上识别效果可知,本文算法针对不同背景颜色的图像,使用不同的预处理方法与不同的分割方法可以有效对抗背景颜色和杂质的干扰。同时,结合形状和纹理能够较好地描述藻类特征,克服了形态各异的藻类识别问题和图像背景颜色不同、气泡杂质干扰的问题,能准确地检测与识别出相应藻类,算法具有一定的鲁棒性。

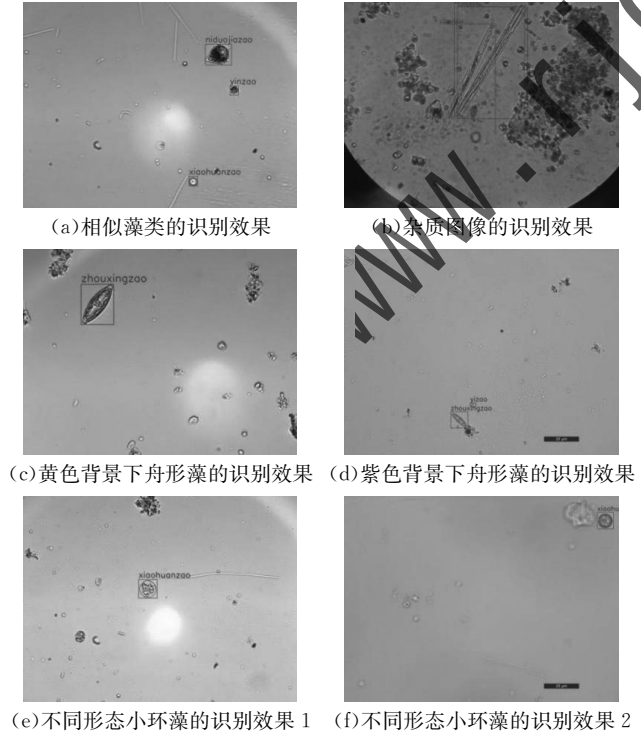


图 5 常见藻类的识别结果

Fig. 5 Recognition results of common algae

3 结论 (Conclusion)

本文针对淡水水域藻类检测与识别准确率低、鲁棒性差等

问题,提出了一种基于多方法融合的常见藻类检测与识别算法。针对不同背景颜色的图像,使用不同的预处理与分割方法,有效地提取出藻类区域,然后结合形状参数、SIFT-FLANN、HOG-SVM 共同完成藻类的检测与识别。经实验验证,本文提出的算法相比其他单一算法,在平均准确率上有更优异的表现,同时能对抗不同程度的检测与识别干扰,具有更强的鲁棒性。

参考文献 (References)

[1] 陈杰,张辉,姜保锋,等. 船载自动监测系统在水质监测中的应用[J]. 中国环境监测,2023,39(2):33-40.

[2] 王璐,殷高方,赵南京,等. 基于可变荧光统计分析法的混合藻类活体细胞数定量实验研究[J]. 光学学报,2022,42(24):26-34.

[3] 郑琳琳,李海滨,李明明. 水中藻类计数及分类的测定(视野计数法)验证实验研究[C]//中国环境科学学会. 2020 中国环境科学学会科学技术年会论文集(第三卷). 北京:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司,2020:296-302.

[4] SAMANTARAY A, YANG B J, DIETZ J E, et al. Algae detection using computer vision and deep learning [DB/OL]. (2018-11-27)[2023-03-27]. <https://arxiv.org/abs/1811.10847>.

[5] 胡圣,刘浩兵,刘辉,等. 基于深度学习技术的藻类智能监测系统开发[J]. 中国环境监测,2022,38(1):200-210.

[6] QIAN P S, ZHAO Z Y, LIU H B, et al. Multi-target deep learning for algal detection and classification[C]//IEEE. Proceedings of the IEEE: 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). Piscataway: IEEE, 2020:1954-1957.

[7] 黄家才,唐安,张铎,等. 基于自适应标记分水岭算法的茶叶嫩芽图像分割方法[J]. 南京工程学院学报(自然科学版),2022,20(4):6-11.

[8] 熊保玉. 基于改进 Hough 变换算法的圆形零件检测[J]. 食品与机械,2021,37(3):112-115,143.

[9] 李文举,王子杰,崔柳. 基于多特征融合和改进 SIFT 的目标跟踪算法[J]. 郑州大学学报(理学版),2024,56(1):40-46.

[10] GUO S J, LIU F, YUAN X H, et al. HSPOG: an optimized target recognition method based on histogram of spatial pyramid oriented gradients[J]. Tsinghua science and technology, 2021, 26(4):475-483.

[11] 吴鹏,李颖,刘瑞,等. 基于 PCA-SVM 的仿刺参产地溯源在线系统研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(5):1604-1609.

[12] SHI X S, TANG Z L, WANG Y H, et al. HOG-SVM impurity detection method for Chinese liquor (Baijiu) based on adaptive GMM fusion frame difference [J]. Foods, 2022, 11(10):1444.

作者简介:

张文漪(2001-),女,本科生。研究领域:计算机视觉。
朱虹(1988-),女,硕士,讲师。研究领域:计算机视觉。
聂凤翔(2002-),男,本科生。研究领域:机器学习。
张佳俊(2001-),男,本科生。研究领域:深度学习。