

使用图形识别技术来识别黑烟以及对江豚的影响

王楚鹏¹ 蒋卓恒² 韩宜桐³

1 南京外国语学校仙林分校, 江苏南京, 210000;

2 深圳(南山)中加学校, 广东深圳, 518052;

3 圣彼得学院, 芝加哥伊利诺伊州, 61354;

摘要: 东洞庭湖的生物多样性正在因人类活动持续衰退, 目前在东洞庭湖仅存 162 头国家一级保护动物长江江豚。这些珍稀物种正面临航运船舶和非法高硫柴油排放黑烟等多重威胁。黑烟中的有毒物质(如二氧化硫和 PM2.5)不仅可以直接损害江豚呼吸系统, 还可以通过水体污染江豚的栖息地以及破坏食物链, 让其毒素累积, 从而加剧其生存危机。针对这一问题, 本研究提出基于无人机和 AI 的监测方案: 使用 YOLO 算法实现多类别船舶(渔船、货船等)的无人机影像实时识别训练数据集涵盖多种光照条件和观测视角。采用 HSV/YUV 色彩空间转换和纹理分析(局部二值模式 LBP、小波变换)实现烟雾区局域分割。研究同时强调, 必须通过生态科普教育和推广渔民替代能源使用等措施, 提升公众意识并强化政策执行。只有技术方案与社会措施双管齐下, 才能有效保护长江江豚。研究指出和强调, 保护长江江豚不仅关乎物种存续, 更是人类维护生物多样性的责任体现, 需要多方协作才能实现长效治理。

关键词: 江豚保护; 图像识别; 烟雾检测; OpenCV; TensorFlowLite

DOI: 10.69979/3041-0673.26.03.012

引言

生物多样性在人类社会中充当一个相当重要的部分, 如今, 人类正投入大量的人力物力去减缓生物多样性的减少。在东洞庭湖中, 生物的多样性在各种因素的影响下逐渐变低。江豚, 一种形似海豚生活在东洞庭湖的物种, 主要特点是没有背鳍。根据东洞庭湖博物馆的资料显示“作为国家一级保护动物的江豚总数为 1249 头, 而东洞庭湖所剩仅仅 162 头, 它们所面临的威胁主要都来自于人类活动的影响。长江干流高密度航运船舶的噪音和螺旋桨成为江豚的最大威胁”, 据本次考察, 在这些航运的船只中, 依然有绝大多数的船只因为价格低廉而选择了非法的高硫柴油, 并且监管难度高, 缺乏像无人机这样的技术去支持, 这些的黑烟极大程度地危害了江豚的生存环境。本文旨在基于生物多样性的保护角度, 借助无人机的技术功能去侦测船只和黑烟以便提高群众的生物保护意识, 从而保护东洞庭湖水域中的江豚。据本科研考察对四位分别来自不同群体的采访, 如今, 东洞庭湖采取全面禁渔的政策, 禁止船只和个人沿岸捕鱼钓鱼, 此项措施缓解江豚因食物不足的原因而死亡, 并同时加强联合执法, 联合渔政、公安和相关的志

愿者组织开展巡查工作, 一定程度上遏制了船只违法捕鱼与违规排放。志愿者组织也开展科普宣传, 例如 2024 年“江豚主题公益跑”推动了群众保护意识的提高, 同时设立了江豚保护相关的设施和宣传标语。黑烟对江豚有着多重危害。首先, 江豚是哺乳动物, 每隔几十秒就需浮出水面换气, 像人游泳一样, 而黑烟中含有二氧化硫、氮氧化物、PM2.5、碳黑等有毒成分, 长期吸入会导致江豚呼吸道感染、免疫系统受损, 严重时甚至死亡。其次, 黑烟中的颗粒最终下降入水, 导致水体酸化、浑浊度增加, 破坏江豚所依赖的浅水清流栖息地, 并造成富营养化, 使江豚活动空间缩小。此外, 黑烟中的有害物质会通过小鱼小虾等在体内积累, 江豚会以这些体内含有有毒物质的小鱼小虾为食, 影响江豚的神经系统和生殖能力, 导致胎儿畸形。烟尘还会遮蔽阳光, 增加水体浑浊度, 干扰江豚的声呐导航系统, 使江豚面临迷航和搁浅风险。更严重的是, 黑烟污染叠加噪音干扰、食物减少、水位波动等其他生态压力, 可能成为压垮江豚生存的“最后一根稻草”, 引发局部灭绝或群体死亡。在此次科研考察之下, 本项目对航运的船只和其产生黑烟对江豚的危害有以下具体的解决措施和方案: 使用无

人机拍摄及结合 AI 图像识别模型去识别使用高硫燃料的船只，然后及时通知当地渔政和监督机关对非法使用燃料的船只进行惩罚。

1 核心方法

1.1 首先是船只识别的大致方法

(1) 首先采集一些东洞庭湖的船只图像，大概在 10~50 张。

(2) 使用 LabelImg (LabelImg 是一个目标检测任务，用来标注目标类别和位置的工具包，可以制作用于机器学习训练和测试的目标检测数据集。他是一个开源的图像标注工具，使用 Python 编写，基于 PyQt5 框架。他提供了一个直观的用户界面，可以使用户对图像进行标注并产生结果。他有很多标注格式，其中 YOLO 就是其中一个。它适用于各种计算机识别任务) 去标注船只。

(3) 使用 YOLO 训练基础识别模型。YOLO (You Only Look Once) 是基于深度神经网络的目标检测算法，用在图像或视频中实时识别和定位多个对象。以下是对船只识别核心技术的原理解释：

在此次研究中，我们团队选择用的是 YOLO 模型，YOLO (You Only Look Once) 是一种流行的实时对象检测算法，只需要对图像进行一次前向传播即可检测出所有对象。YOLO 算法自 2015 年首次提出以来，经历了多次重要的版本更新和改进，每个版本都带来了关键的技术。他改进其结构是借鉴了 GoogleLeNet，此模型具有 24 个卷积层和 2 个全链接层。这个模型采取的是单独的 CNN 模型实现了 end-to-end 的目标检测。整个系统会将图先 resize，然后输送到 CNN 神经网络，最后处理网络预测结果得到了最后的检测目标。YOLO 会将图片分割成 $N \times N$ 的“小方块”，然后使用非极大值抑制算法 (non maximum suppression, NMS) 这个算法不仅仅 YOLO 可以用到，而是所有检测的算法可以用到。这个算法主要解决的是一个目标被同时检测的问题。下面就是 YOLO 算法的网络训练过程。在训练的时候，将会使用到 ImageNet 预训练前的 20 个卷积层，根据训练结果可以得出，此模型的结果为 top-5 accuracy = 88%。训练好网络以后就可以进行检测训练了。使用带有泄漏的修正线性单元激活函数 Leaky ReLU 如图 1 所示。而

后计算函数的损失误差，得出模型最终误差。

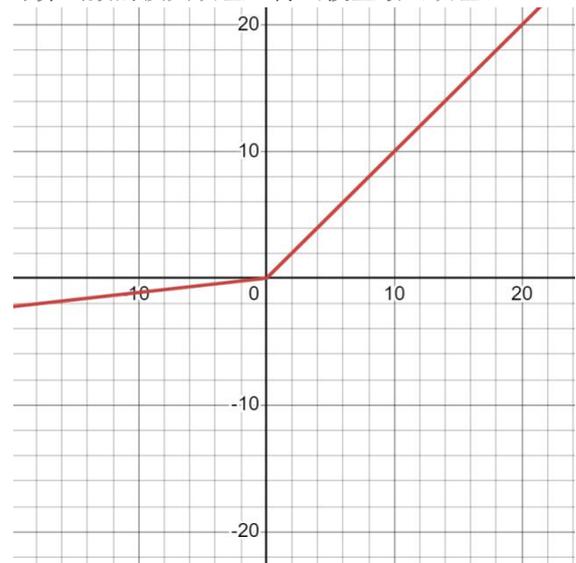


图 1

1.2 以下是船只识别的技术细节

在东洞庭湖航运密集区域中，快速、准确地识别出湖面船只，是实现后续黑烟监测与污染追踪的基础。为此，本项目采用了无人机拍摄结合目标检测算法 YOLO (You Only Look Once) 进行船只自动识别，流程如下：

(1) 图像数据采集

无人机在东洞庭湖水域预设航线，定期以高空垂直俯拍和倾斜拍摄相结合的方式图像采集。为确保识别模型具备良好的准确性，采集图像需覆盖：

- 不同时间（晨间、午后、傍晚）的光照条件；
- 不同背景（水面反光、岸边树林、码头等）；
- 多类型船只（运输船、渔船、快艇、非法拼装船等）；
- 多视角（正上方、斜角度、远景、近景）。

图像多样性：数据集中的图像经过精心挑选和标注，确保每个类别的样本都具有代表性。

应用场景：适用于目标检测任务，特别适用于船舶类型检测系统的训练和评估。

(2) 图像标注 (LabelImg 工具)

首先是加载图片：在 LabelImg 的界面中，点击“Open Dir”按钮选择图片所在的文件夹，并点击“Select Folder”按钮。

然后开始标注：在图片上使用鼠标框选目标区域，并选择相应的标签类别。可以使用快捷键对标注框进行调整和移动。

其次开始保存标注结果：标注完成后，点击“Save”按钮保存标注结果。可以选择不同的标注格式保存，如

PASCAL VOC、YOLO 等。

最终导出标注结果:点击“View”菜单中的“Save As”选项,可以将标注结果导出为 XML、TXT 等格式。

使用开源图像标注工具 LabelImg 对采集图像中的船只目标进行框选,并保存为 YOLO 格式(COCO 文件),每一张图像都对应一个或多个带有边界框坐标与类别标签的文件。

把图像分类,并且标上编码。这一类编码(船只)统一采用:

- 0: 小型渔船
- 1: 运输货船
- 2: 拼装船只
- 3: 高速快艇

标注数量越丰富,越能增强模型泛化能力。

(3) 模型选择与训练(YOLOv5)

我们选用 YOLOv5(最新版为 v7)作为目标检测框架,原因如下:

YOLOv5 检测速度快,适合无人机图像实时或半实时处理;

精度高,适合识别尺度变化大、背景复杂的小目标;
模型轻量,可部署于边缘计算设备(如无人机搭载板卡)。

训练参数设定如下:

图像输入尺寸: 640×640;

学习率(lr): 0.01;

Batch size: 16;

训练轮数(epochs): 100;

损失函数: $\text{GIoU loss} + \text{Objectness loss} + \text{Classification loss}$;

优化器: SGD 或 Adam。

训练完成后,利用测试集进行 mAP(mean Average Precision)评价,目标达到 $\text{mAP}@0.5 \geq 0.85$ 。

1.3 其次是识别黑烟的方法:

先使用基础图像识别技术将拍摄照片的 RGB 转换成 HSV、YUV 来分离烟雾区域,并结合纹理分析(如 LBP、小波变换)进行识别。图像处理中的色彩模型是关键的概念,而 HSV(Hue, Saturation, Value)和 YUV 是两种常用且广泛应用的模型。将图像从 RGB 转换到 HSV/YUV 空间,通过阈值分割提取黑色或深灰色区域(例如: V 通道低值、S 通道中等值)。然后进行纹理分析:

对分割区域使用 LBP(局部二值模式)或灰度共生矩阵(GLCM)分析烟雾的颗粒状纹理。最后采集动态特征:通过连续帧的差分法检测烟雾的扩散运动(静态背景下的动态区域)。但有很多局限性,例如易受天气(阴云、阴影)干扰,需结合形态学滤波(如开运算)去噪。

1.4 图像处理

接下来我们可以使用 OpenCV(open source computer vision)去进行图像处理,此方式是一个跨平台发行的跨平台计算机视觉库,可以运行在 Linux, Windows, Android 和 Mac OS 操作系统上操作。

OpenCV 是一个开源的计算机视觉和机器学习软件库,此模型的用处就是把一张拍摄的照片(去色照片)然后转换成 5 张不同阈值的照片,处理效果如下图所示:



图 2



图 3

从本团队拍摄的照片可以得出,使用 OpenCV 对目标图像进行解析之后,可以明显发现船只排放黑烟的情况。

1.5

然后我们使用 TensorFlow Lite 技术(专为移动设备、嵌入式系统和 IoT 设备)进行优化。TensorFlow Lite 是一种用于设备端推断的开源深度学习框架。可帮助开发者在移动设备、嵌入式设备和 IoT 设备上运

行 TensorFlow 模型。它可看作是一套 TensorFlow 的补充工具，它可以使模型更加 mobile-friendly，这通常涉及到减少它们的规模和复杂性，并尽可能少地影响它们的准确性，使它们在像移动设备这样的有限电源环境中更好地工作。我们并不能使用 TensorFlow Lite 训练一个模型。我们用 TensorFlow 训练一个模型后，将它转换为 TensorFlow Lite 格式。TensorFlow Lite 就是我们上面提到的这些问题的一个解决方案。它是为了满足移动设备以及嵌入式系统的需求而设计的。TensorFlow Lite 可以主要被看作两个部分组成：

- (1) 一个 converter，将模型进行压缩和优化，转化为 tflite 格式。
- (2) 一套用于各种 runtimes 的解释器。

1.6

为了服务于本项目的数据采集，本团队选择使用采取自行搭建无人机的方案。此无人机采取的型号是 F450 Pixhawk，如图 4、5 所示。其主要元件包括但不限于：飞控传感器（Inertia Measuring Unit, RC 接收, GPS, 电调, 电机, 数（据）传输 数传电台等部件。此飞机采取的协议是数传电台 MavLink。用的调试软件是 Ardupilot。本团队在搭建此无人机时还应用了扩展卡尔曼滤波算法，测了加速度&角速度，做了姿态解算，PID，以及导航算法。



图 4



图 5

1.7

总之，黑烟识别最主要的核心的方案为：预处理：图像去噪（高斯滤波）、光照归一化（直方图均衡化）。颜色分割（HSV/YCrCb）。纹理（LBP/GLCM）、边缘模糊度、形状动态性。阈值法或传统机器学习如（SVM、Adaboost）。其中比较重要的步骤为图像去噪（高斯滤波），光照归一化（直方图均衡化），纹理（LBP/GLCM），和阈值法。以下就是对其进行进一步的展开叙述：

(1) 首先是为图像去噪，也就是要进行高斯滤波。此过程就相当于对图片进行高斯模糊来以便降低图片的噪点。高斯函数具有五个重要的性质，这些性质使得它在早期图像处理中特别有用。这些性质表明，高斯滤波器无论在空间域还是在频率域都是十分有效的低通滤波器，且在实际图像处理中得到了工程人员的有效使用。高斯函数具有几个十分重要的性质，它们是：二维高斯函数具有旋转对称性，即滤波器在各个方向上的平滑程度是相同的。一般来说，一幅图像的边缘方向是事先不知道的，因此，在滤波前是无法确定一个方向上比另一方向上需要更多的平滑。旋转对称性意味着高斯平滑滤波器在后续边缘检测中不会偏向任一方向。高斯函数是单值函数。这表明，高斯滤波器用像素邻域的加权均值来代替该点的像素值，而每一邻域像素点权值是随该点与中心点的距离单调增减的。这一性质是很重要的，因为边缘是一种图像局部特征，如果平滑运算对离算子中心很远的像素点仍然有很大作用，则平滑运算会使图像失真。由于高斯函数的可分离性，较大尺寸的高斯滤波器可以得以有效地实现二维高斯函数卷积可以分两步来进行，首先将图像与一维高斯函数进行卷积，然后将卷积结果与方向垂直的相同一维高斯函数卷积。因此，二维高斯滤波的计算量随滤波模板宽度成线性增长而不是成平方增长。要模糊一张图像，可以这么做：对于每个像素点，以它为中心，取其 3x3 区域内所有像素灰度值的平均作为中心点的灰度值。可是，如果仅使用简单平均，显然不是很合理，因为图像都是连续的，越靠近的点关系越密切，越远离的点关系越疏远。因此，加权平均更合理，距离越近的点权重越大，距离越远的点权重越小。而正态分布显然是一种可取的权重分配模式。由于图像是二维的，所以需要使用二维的高斯函数。高斯模糊本质上就是利用高斯函数生成的高斯核（高斯模板）对图像进行卷积操作。

(2) 接下来就是光照归一化(直方图均衡化)的方法。其基本思想是保持像素数量不变,将像素进行重新分配,使每个灰度级上的对应的像素的数量差别不大。其核心算法思路为找到两个直方图之间的映射关系,对不同像素值的像素进行映射(即重新分配这些“长条”,但长度(即一个像素值对应的像素数,和总像素数不变),目的是使这些长条能尽可能均匀分布在直方图上,而不是集中在某一块。在均衡前原始直方图中,像素值为 x 的像素,经过 f 这个映射关系后,像素值为 x 的像素,像素值改为 y 。对原始图像中所有像素值进行这样映射,然后得到右边的直方图,这个过程就是直方图均衡。目的是使像素在各个像素值上分配比较均匀。自适应直方图均衡 Adaptive Histogram Equalization (AHE)。如果用两个词来简单区分一下自适应直方图均衡(AHE)和前面讲的直方图均衡(HE),两个词是:局部、全局。直方图是对整个图像进行直方图均衡,而自适应直方图则是对局部进行均衡。它会把图像分成几个小块,进行各自的均衡。这种均衡方法更容易突出细节,增强图像边缘信息。但是自适应直方图均衡并没有解决直方图均衡中的噪声问题。而且得出来的图像会比较不连续。这个时候人们又想出了更好的方法,由于直方图均衡存在对齐问题嘛,在图像颜色值比较集中在一点时(某一个颜色值的像素数很多),会突然把这么多的像素从这个颜色值移到另外一个,虽然增强也增强了对比度,但是会带来分色现象和扩大噪声的影响。然后上面所说的那个问题的本质是某一个颜色值/灰度值对应的像素数太多,导致其他颜色像素减少。以下就是大致的解决方案,其基本思想为:CLANE算法的思想就是在自适应直方图均衡的基础上限制一下:某一个颜色值的像素数(频数)太多了(通常会指定一个阈值),然后给其他的匀点到其他像素值上去一些像素。但这么做还有一个问题,也就是不连续,为了解决这个问题,本团队决定了用优化方案双线性插值的AHE,然后这个基础上再使用CLHE的截断对比度的思想,就变成了现在的CLAHE算法。

(3) 接下来就是纹理特征(LBP/GLCM)。纹理特征是一种全局特征,反映的是图像中同质现象的视觉特征,体现物体表面的具有缓慢变换或周期性变化的表面组织结构排列属性。图像纹理通过像素及其周围空间邻域的灰度分布来表现,即局部纹理信息。另外,局部纹理信息不同程度上的重复性,就是全局纹理信息。纹理特征的提取方法可分为:基于结构的方法,将要检测的

纹理建模,在图像中搜索重复的模式,和基于统计数据的方法。

(4) 最终的方法就是阈值法。其基本原理为是先确定一个阈值,然后将所有像素按照其灰度值与阈值的大小关系划分为两个类别。当像素灰度值大于阈值时,该像素被归为目标类;反之,若像素灰度值小于等于阈值,则被归为背景类。通过选择合适的阈值,可以实现对图像目标与背景的有效分离。

由于我们识别的对象是黑烟,有颜色特征,所以本团队决定不在时间维度上进行进一步的观察。但此方案有所缺陷:例如如果湖面上本来就飘有黑烟,后面船只正好经过,此模型会误判。但由于本团队发现加上时间的分析的性价比过低,本团队依然保持“试错性价比更高”的解决措施。

2 街坊及采访与结果

以下是本团队在岳阳地区对江豚保护的公众调查报告结果。本科研考察团队一共采访了大约有170位市民,涵盖了关于江豚保护的多个维度,调查结果如图6、7所示。首先,根据前两个问题,本科研考察可以了解到我们采访到的大部分人都不是本地人,所以见到过江豚的也不多,但是基本上人们都知道江豚是国家一级保护动物。可以反映出公众对于江豚的知识方面具有一定的常识,也都觉得十年禁鱼基本上是肯定有积极的影响,也展示了市民对这项政策的大力支持。但是从人们看见“江豚的保护措施/标语”这项见到过的人和没有见到过的差距不大,所以应该增加对江豚保护的宣传。其次是很多人都觉得原地保护江豚是最有效的方法,基本上所有人都认为应该增加对于江豚保护的教育,这说明了还是有很多人都愿意去保护江豚。然而,从第八个问题可以看出,人们不太清楚对江豚最具有威胁的因素到底是什么,所以本次调研认为要更加强科普提升公众可见度,来让人们了解到江豚对于整个生态环境的重要程度之大。大部分人是没有参加过关于江豚志愿的服务,但是根据最后一个问题人们还是很愿意通过志愿服务或者捐赠的方式来保护江豚。所以通过这个街坊调查显示出了人们对江豚保护这一政策的支持度较高,但是在认知维度和参与到其中来真正的保护江豚还是有待提升的,所以我们认为政府应该做更多的宣传以便达到较好的效果。

仅靠技术识别并不能抑制非法排放行为,监管执行

和公众意识的提高才是长久治理的根本。通过本次调研做的街坊发现，大部分洞庭湖周边的本地人对江豚保护的知识匮乏，对这种高硫柴油的危害的认知的缺乏。甚至部分渔民处于经济压力，仍在使用非法燃料，提高了江豚灭亡的速度。因此，本团队建议加强以下几点：提升人民的基本生活水平，所谓“仓廩实而知礼节，衣食足而知荣辱”开展生态科普宣传，制作视频、漫画、宣传册，讲述江豚故事，激发公众情感共鸣；联合学校开设“生态课堂”，组织学生实地参观江豚保护站等方式来更加全面的保护江豚。

问题内容	选项1	人数	选项2	人数	选项3	人数
1 您是岳阳本地人吗?	是	78	不是	98	-	-
2 您是否见过野生江豚?	是	41	否	135	-	-
3 江豚是国家几级保护动物?	一级	140	二级	30	三级	-
4 十年禁渔对江豚保护是否有积极影响?	是	157	否	19	-	-
5 见过江豚保护设施/标语吗?	是	102	否	73	-	-
6 哪项措施对江豚保护更有效?	原地保护	147	迁地保护	22	海洋馆	-
7 应增加江豚科普教育吗?	是	168	否	11	-	-
8 对江豚最具威胁的因素?	航运	22	污染	85	气候变化	-
9 参加过江豚志愿服务吗?	是	59	否	147	-	-
10 未来可能支持江豚保护的方式?	志愿服务	114	捐赠	53	不愿意	-

图 6

了解江豚的人数

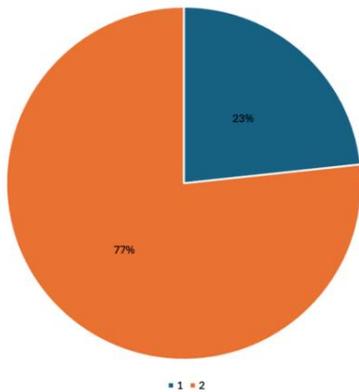


图 7a

是否有积极影响

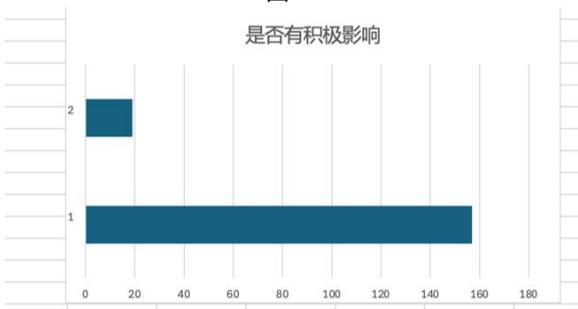


图 7b

保护措施那些有效

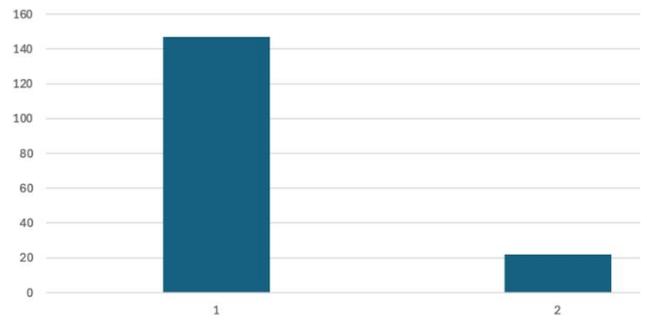


图 7c

愿意做实际行动



图 7d

3 结论与建议

根据此次调研的结果以及提出的解决方案，我们得出以下大致结论。首先介于本研究进行的街坊得知，被调查人数对于江豚护意识不强，其次，本团队在洞庭湖的科考的时间发现，虽然国家已经明令禁止船只使用高硫柴油，但依然有船只使用高硫燃料以便去压低成本。这两项可以通过本团队所提出的方法对违法和危害环境的行为进行识别，并给予相关监察部门去遏制此类行为，同时将详细数据呈现在公众的眼前，让群众有这个意识，去自觉对江豚保护做一些支持。最后，本团队认为虽然保护江豚的工作难度很大，有许多人为极难干预的部分，但是这么做的必要性却非常显著，因为我们保护的不仅仅是江豚这一濒危物种，而是扛起了整个人类文明的责任，去保护物种的多样性，以便给我们下一代一个更好的未来。

参考文献

- [1]王浩, 张强, & 李文龙. (2023). 基于 YOLOv5 的水面船舶目标检测研究. 计算机技术与发展, *33*(4), 45 - 50.
- [2]王科. (2024). 基于深度学习的船舶黑烟检测算

- 法研究. 船舶工程, *46*(S1), 123-127.
- [3]Nabi, I. G., Ashena, M., & Korb, P. J. (2018). A review on soot and smoke detection techniques from marine diesel engines. *Frontiers in Physiology*, *9*, 1452. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01452>
- [4]Turvey, S., Brierley, L., & Toms, M. (2021). Computer vision for remote environmental monitoring: A case study on smoke and emission detection [Unpublished manuscript]. Department of Computer Science, University College London.
- [5]Wang, X., Zhao, Y., & Li, J. (2020). A hybrid model for ship smoke detection combining traditional and deep learning methods. *Journal of Environmental Management*, *265*, 110532. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110532>
- [6]WWF. (2018). Eye in the sky: Using technology to monitor ship emissions. World Wide Fund for Nature.
- [7] (2020, April 1). 传统图像处理技术在烟雾检测中的应用概述. CSDN. <https://blog.csdn.net/DFCED/article/details/105157452>
- [8] (2020, May 15). 基于视频分析的林火烟雾检测技术简介. 电子工程世界. <https://www.eefocus.com/e/522607.html>
- [9] (2020, March 28). OpenCV 与图像处理:运动目标检测. CSDN. https://blog.csdn.net/gloria_iris/article/details/105172768
- [10] (2021, April 4). 使用背景减除法进行运动车辆检测. CSDN. <https://blog.csdn.net/xkuzhang/article/details/115423061>
- [11] (2022, December 12). YOLO 系列目标检测算法对比与总结. CSDN. https://blog.csdn.net/myDarling_/article/details/128104279
- [12] (2023, October 25). 基于计算机视觉的黑烟车识别技术实践. Oxings' Blog. <https://blog.oxings.com/article/91>
- [13] (2023, October 11). 深度学习在环境监测中的应用:以船舶黑烟检测为例. CSDN. <https://blog.csdn.net/q7w8e9r4/article/details/133700058>
- [14] (2021, June 15). 图像处理中的颜色空间转换与特征提取. CSDN. <https://blog.csdn.net/WUHU648/article/details/118491096>
- [15] (2023, September 28). 传统特征提取方法: LBP、HOG 与 SIFT. CSDN. <https://blog.csdn.net/Yaoyao2024/article/details/133294339>
- [16] (2020, June 20). 基于帧差法与光流法的运动目标检测. CSDN. <https://blog.csdn.net/a435262767/article/details/107115249>
- [17] (2022, March 15). 目标检测中非极大值抑制(NMS)的原理与实现. CSDN. https://blog.csdn.net/q_41204464/article/details/123874233
- 作者简介: 王楚鹏 (2008-), 男, 汉族, 江苏省。
蒋卓恒 (2009-), 男, 汉族, 湖南省岳阳市。
韩宜桐 (2010-), 女, 汉族, 河南省巩义市。