

ICS 96.160

CCS P59

团体标准

T/CHES XXX—20XX

水利水电工程过鱼设施目标鱼类 智能图像识别指南

Intelligent image recognition guidelines for target fish
in Fishery Facilities of water conservancy and hydropower
engineering fish crossing facilities

（征求意见稿）

请将你们发现的有关专利的内容和支持性文件随意见一并返回

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 设备要求 2

5 图像采集 2

 5.1 水下图像采集设备操作 2

 5.2 图像信息传输 2

6 图像增强 3

7 前景提取 3

8 鱼类检测识别 3

 8.1 检测流程 3

 8.2 种类识别 3

 8.3 数量统计 4

9 信息集成与输出 4

 9.1 集成 4

 9.2 输出 4

10 验证方法 4

 10.1 鱼类种类识别精确度测量 4

 10.2 鱼类数量统计准确率测试 6

附录 A （资料性） 监测报表示例 7

 A.1 过鱼设施目标鱼类智能识别记录表 7

 A.2 过鱼设施目标鱼类年度监测报告 7

附录 B （资料性） 水下摄像系统结构示例 8

附录 C （资料性） 鱼类检测识别原理（以 YOLO 算法为例） 9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件共分为10章和3个附录，主要技术内容包括设备要求、图像采集、图像增强、前景提取、鱼类检测识别、信息集成与输出、验证方法等。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条16号，邮编100053），以便今后修订时参考。

本文件主编单位：中国水利水电科学研究院、华电西藏能源有限公司。

本文件参编单位：华能雅江公司

本文件主要起草人：

水利水电工程过鱼设施目标鱼类智能图像识别指南

1 范围

本标准规定了水利水电工程过鱼设施目标鱼类智能图像识别技术一般要求、图像采集、图像增强、前景提取、鱼类检测识别、信息集成与输出、验证方法等要求。

本标准适用于浊度测量值在 100 NTU 内的测量条件下，水利水电工程过鱼设施目标鱼类监测和效果评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

SL/Z 705 水利建设项目环境影响后评价导则

NB/T 35054 水电工程过鱼设施设计规范

GB/T 18268.1 测量、控制和实验室用的电设备电磁兼容性要求第 1 部分:通用要求

GB/T 28181 安全防范视频监控联网系统传输、交换、控制技术要求

GA/T 1154.5 视频图像分析仪 第五部分：视频图像增强与复原技术要求

GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB 50311 综合布线系统工程设计规范

3 术语和定义

SL/Z 705 和 NB/T 35054 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

目标鱼类 Target fishes

设计需要通过水利水电工程过鱼设施的特定种类的鱼类。

3.2

智能图像识别 Intelligent image identification

通过人工智能的方式自动统计图像中目标鱼类种类和数量的过程。

3.3

图像采集 Image acquisition

采用成像设备获取目标鱼类水下图像信号的过程。

3.4

图像增强 Image enhancement

强调图像的整体或局部特性，改善水下鱼类图像视觉效果的过程。

3.5

动态图像 Dynamic image

目标鱼类游动通过过鱼设施时的实时图像。

3.6

图像前景提取 Image foreground extraction

通过图像处理的手段提取图像中感兴趣对象的过程。

4 设备要求

- 4.1 水下高清摄像头分辨率不应低于 200 万像素。
- 4.2 置于水下的设备防护等级应符合 GB/T 4208 规定的 IP68 等级要求。
- 4.3 为保证实时传输，网络带宽不应低于 100 Mbps，宜达到 1000 Mbps；网络延时应低于 100 ms，宜低于 50 ms。
- 4.4 应确保供电可靠性，电力系统备用容量不应低于 15%。
- 4.5 智能识别终端算力单线路不应低于 1 TFLOPS,不宜小于 5 TFLOPS。
- 4.6 线缆应使用专用防水电缆，以太网电缆应符合 GB 50311 规定的 6 类屏蔽电缆要求，传输速度不应低于 1000 Mbps，光纤传输速度不应低于 2.5 Gbps。

5 图像采集

5.1 水下图像采集设备操作

5.1.1 水下图像采集设备宜包含高清摄像头、过鱼箱涵、补光设备、自清洁装置，其工作状态和工作环境应满足 GB/T18268.1 要求。

5.1.2 水下图像采集设备规格尺寸应根据过鱼设施的宽度和高度定制，上下游宜分别布置过水网和引导墙。

5.1.3 应具备由计数系统触发视频录制的功能，以减少无效视频录制，节省储存空间和智能识别工作量，自动保存有效过鱼影像。

5.1.4 水下高清摄像头应布置于过鱼设施进口段和出口段，应实时获取过鱼设施目标鱼类的动态高清图像，自动保存有效过鱼影像，支持会话通道和媒体流通道的传输协议。

5.1.5 应用于浑水（浊度>30 NTU）条件下,应符合下列要求：

- a) 采用浑水水下高清摄像机或浑水摄像辅助装置，或在水下摄像机的镜头前安装一个耐压或非耐压的摄像罩，罩内封闭空腔内的介质为空气或清水，使光线从被摄物体到镜头的传输过程中缩短浑水路径，从而减少水的散射作用，提高目标鱼类影像清晰度，相关结构示例见附录 B。
- b) 采用摄像系统配置补光 LED 灯或搭建 LED 光壁等技术补光，选择目标鱼类的亲和光谱范围。
- c) 安装补光 LED 灯或 LED 光壁时需要注意产生斜侧光拍摄，尽量确保光源的照射方向与镜头的拍摄方向成 30 度至 60 度夹角。
- d) 摄像通道内应部署自动清洁装置并具备手动或自动触发开启功能。

5.1.6 应定期检查水下高清摄像头等水下图像采集设备，开展密闭绝缘性、信号状态和传输通道测试。

5.1.7 过鱼设施停运期间，宜将水下高清摄像头拆除保存；当设备不便于拆卸时，应做好防护措施。

5.2 图像信息传输

5.2.1 图像信息传输设备应包含高清摄像机储存端、传输线缆、客户接收端。

5.2.2 应实现过鱼设施图像监测信息化管理，完善监测数据的实时记录、传输、保存、分析和共享的数据流传递。

5.2.3 应建立符合 GB/T 28181 规定的流媒体连接，支持的实时最大传输帧率应高于 25 fps。实时传输协议宜采用常见的 RTSP (Real Time Streaming Protocol)、RTMP (Real-Time Messaging Protocol) 等协议，满足图像传输的实时性要求。

5.2.4 视频流应具备实时读取并进行有效读取保存功能。

5.2.5 图像信息视频流应按照固定的命名格式存储于指定的文件夹内，文件名中宜包含采集时刻、录制时长、通过数量等信息。

6 图像增强

6.1 能够对水下图像中的鱼类个体进行准确的人工鱼种辨识是开展检测模型训练的前提。因图像成像质量问题造成具备目标鱼类辨识能力的人员无法辨认画面中鱼类的种类时，应进行额外的图像增强处理。

6.2 智能识别准确率低于 80% 的水下视频图像应进行图像增强。

6.3 图像增强性能应符合 GA/T 1154.5 中 6 的规定。

6.4 水下视频图像的图像增强处理宜根据实际图像和应用场景进行调整。

6.5 水下视频图像宜适当增加对比度和色度以补偿水下光线条件。

7 前景提取

7.1 前景提取应满足在受到自然环境变化、拍摄设备的监测误差等因素的干扰时提取视频图像中的目标鱼类前景。

7.2 前景提取应支持不同类型的图像视频输入；应满足在水下不同光照、水体浊度等条件下的稳定提取；应具备实时性；应能够处理大规模数据集，并具有一定的可扩展性，以适应未来可能出现的更复杂的图像识别任务。

7.3 前景提取应适用于前景背景差异小，背景存在快速明暗变化、几何变化以及光照等噪声的场景。

7.4 前景提取宜适用于小目标提取。

8 鱼类检测识别

8.1 检测流程

8.1.1 采集到的数据集宜多于 2000 张图像，按照 8:2 的比例划分为训练集和验证集，训练集用于训练卷积神经网络，验证集用于评估模型每次迭代完成后的精度，并调整超参数。

8.1.2 当训练好的卷积神经网络模型的准确率低于 85% 时，应对数据集进行扩充，并重新按照 8:2 的比例划分为新的训练集和验证集；其中，训练集扩充方法宜至少包括翻转、旋转、缩放、裁剪以及移位中的一种。

8.1.3 数据集宜采用卷积神经网络框架处理，可采用 YOLO、Fast-CNN 等算法，包括主干提取网络、特征加强网络和模型输出网络，主干提取网络提取图像特征信息，特征加强网络对特征信息进行加强，丰富上下文语义信息。最后部分为模型输出网络，将得到的特征图进行解码预测，输出检测目标的种类和位置。相关测量原理见附录 C。

8.2 种类识别

8.2.1 应具备对动态图像进行实时识别和数据处理功能，识别目标鱼类种类。

8.2.2 在监测区域同时出现的鱼类数量不超过 30 尾的时,应实现所有鱼类目标种类同步识别。

8.2.3 应每月至少进行一次人工抽样复核,抽取至少 30 条上次复核后采集的鱼类信息,核对种类识别是否正确,发现种类识别精确度显著下降时应分析原因并调整模型。

8.2.4 单鱼种识别精确度宜高于 80%,所有鱼种识别精确度均值宜高于 85%。

8.3 数量统计

8.3.1 鱼类监测模型应具备区分上溯和降河方向分别统计鱼类通过数量的功能。

8.3.2 应每月至少进行一次人工抽样复核,随机抽取至少 5 段过鱼视频人工测量视频中上溯和降河个体数量并与自动检测结果比对,发现计数准确率显著下降时应分析原因并调整模型。

8.3.3 目标鱼类数量的上溯和降河的计数准确率宜均高于 80%。

9 信息集成与输出

9.1 集成

9.1.1 宜建立数据管理系统,实现过鱼视频图像、探鱼声呐、水文、水质等各类参数测量数据实时采集与汇总。

9.1.2 数据管理系统宜集成智能视频图像分析、数据统计等功能。

9.1.3 数据管理系统宜具备分析水质、水文监测数据和过鱼图像监测信息的功能,支持监测信息图形可视化展示。

9.2 输出

9.2.1 数据管理系统宜具备自动预警鱼道监测设备非正常状态的功能。

9.2.2 数据管理系统宜具备自动生成鱼道智能运行监测信息报表的功能,相关示例见附录 A.1。

9.2.3 数据管理系统宜具备历史数据查询和展示功能。

9.2.4 在一年的监测期结束后,宜编制该年度过鱼设施目标鱼类年度监测报告,总结该年监测结果,相关说明见附录 A.2。

10 验证方法

10.1 鱼类种类识别精确度测量

10.1.1 为确保目标鱼类智能识别技术有可靠的种类判别能力,应进行识别算法的种类识别精确度测试。

10.1.2 测试数据集应包含所有需要检测的鱼种和充足的样本数量,且每个样本都有准确的标注。

10.1.3 将数据集按 8:2 随机划分为训练集和验证集,以便独立评估模型性能。训练集用于识别技术模型训练,验证集在训练过程中用于测试神经网络对训练集中未出现数据的分类性能,根据神经网络在验证集的性能情况,计算获得单鱼种识别精确度和所有鱼种识别精确度均值。

10.1.4 采用 Positive 和 Negative 表示预测得到的结果,若 IoU 值大于设定的阈值,

则预测为正类 **Positive**，若 IoU 值小于设定的阈值，则预测为负类 **Negative**。阈值宜设定为 0.3。采用 **True** 和 **False** 则表示预测的结果和真实结果是否相同，相同则是 **True**，不同则为 **False**。依据预测值和真实值的属性对目标分别归类计算数量。分类方法见表 1。

表 1 正负样本划分

	预测值: Positive	预测值: Negative
真实值: Positive	True Positive, 计入正确识别的鱼类数量	False Negative, 计入漏检的鱼类数量
真实值: Negative	False Positive, 计入错误识别的鱼类数量	True Negative, 不计入数量

10.1.5 准确率即分类器认为是正样本并且确实是正样本的部分占有所有分类器判断为是正样本比例。

$$P = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FP}} \quad (1)$$

式中:

P —— 样本准确率 (%) ;

N_{TP} —— 样本中正确识别的鱼类数量;

N_{FP} —— 样本中错误识别的鱼类数量。

10.1.6 对样本中所有鱼类进行检测,所有结果进行统一计算所得的准确率为整体准确率。筛选单一鱼种的识别结果进行分析计算,所得准确率为该鱼种准确率。

10.1.7 召回率即分类器认为是正样本并且确实是正类的部分占有所有测试集中正样本的比例。

$$R = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FN}} \quad (2)$$

式中:

R —— 样本召回率 (%) ;

N_{FN} —— 样本中漏检的鱼类数量。

10.1.8 平均精确度用来度量模型预测框类别和位置是否准确。AP (Average Precision) 是以召回率作为横轴, 准确率作为纵轴, 把 P-R 曲线下的面积当做衡量模型的尺度。

$$A_P = \int_0^1 P(R) dR \quad (3)$$

式中:

A_P —— 样本的平均精确度。

10.1.9 当鱼类种类数大于 1 时, 应评估模型对所有目标鱼种的识别精确度均值。

$$m_{AP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \quad (4)$$

式中:

m_{AP} —— 样本中所有鱼种的识别精确度均值;

A_i —— 样本的第*i*种鱼的识别精确度;

n —— 样本的鱼种数量。

10.2 鱼类数量统计准确率测试

10.2.1 应选取实际测量场景中采集到的鱼类通过视频,分别由人工和智能识别模型测量该视频中鱼类上溯和降河个体数量(不区分鱼种)。选取视频中鱼类通过量应超过 100 尾,时长宜超过 30 分钟。

10.2.2 每次测量中宜由超过两名测试人员分别观看测试视频,独立统计视频中的鱼类上溯和降河量。对所有测试人员的测量结果取算数平均值作为该段视频鱼类通过量的人工测量值。

10.2.3 每次测试应选取超过 3 个不同时刻的视频开展比对。

10.2.4 逐个计算所选视频的计数准确率,上溯和降河分别进行计算。

$$C_i = \left(1 - \frac{|N_i - M_i|}{M_i}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

C_i ——第 i 个视频的计数准确率, %;

N_i ——第 i 个视频中智能识别模型测量所得的鱼类通过量(上溯或降河), ind;

M_i ——第 i 个视频中鱼类通过量(上溯或降河)的人工测量值, ind。

10.2.5 对所有测试视频的计数准确率取均值获得智能识别模型的鱼类数量统计准确率,上溯和降河分别进行计算。

$$\bar{C} = \frac{1}{n_v} \sum_{i=1}^{n_v} C_i \quad (2)$$

式中:

\bar{C} ——智能识别模型的鱼类数量统计准确率(上溯或降河), %;

n_v ——测试视频数量。

附录 A
(资料性)
监测报表示例

A.1 过鱼设施目标鱼类智能识别记录表

表 A.1 为本文件中数据输出月报表的示例，其他时间周期（日、旬、季度，年等）报表参照此示例编制。

表 A.1 过鱼设施目标鱼类智能识别记录表

20XX年X月XXXXXXXXXX（过鱼设施名称）鱼类监测数据									单位：尾	
日期	目标鱼类A		目标鱼类B		目标鱼类C		其他鱼类		总上溯	总降河
	上溯	降河	上溯	降河	上溯	降河	上溯	降河		
第一周										
第二周										
第三周										
第四周										
第五周										
合计										

A.2 过鱼设施目标鱼类年度监测报告

A.2.1 过鱼设施目标鱼类年度监测报告宜包含以下章节：概述、设备运行维护状态、过鱼效果、结论与建议，并以附件形式提供该年度监测期所有月的过鱼设施目标鱼类智能识别记录表。

A.2.2 概述章节宜包含该过鱼设施的基本信息、目标鱼类的主要情况、过鱼设施的历史运行情况。

A.2.3 设备运行维护状态章节宜包含报告期内过鱼设施运行情况、监测设备运行时间段、检查维护情况、监测设备和过鱼设施工作异常情况的相关信息。

A.2.4 过鱼效果章节宜包含各目标鱼类报告期内不同时间尺度监测数据的统计结果，并对日、月通过量的变化情况进行简要分析。宜统计单日内不同时刻的通过量，获得各目标鱼类的典型洄游节律。

A.2.5 结论与建议章节宜对报告期内过鱼设施的鱼类通过情况进行总结，给出过鱼设施的运行效果评估结论，并提出改进建议。

附录 B
(资料性)
水下摄像系统结构示例

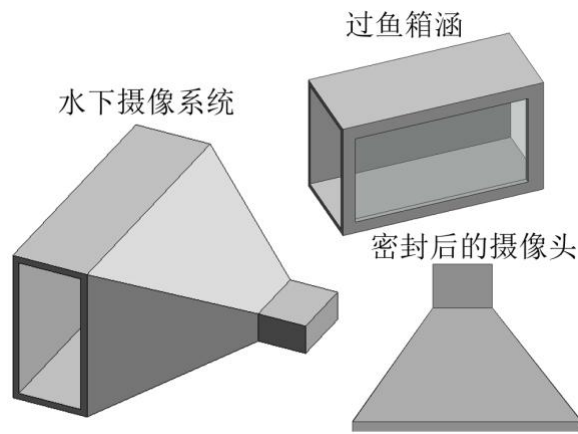


图 B.1 水下摄像系统结构示例示意图

附录 C

(资料性)

鱼类检测识别原理 (以 YOLO 算法为例)

通过图像采集系统, 获取清晰的过鱼视频图像, 并实时传输至服务器中。服务器内部署YOLO系列检测模型。YOLO模型对鱼类识别主要分为三部分, 第一部分主干提取网络, 该主干网络以Darknet-53网络框架为模型, 对图像进行特征提取。第二部分为特征加强, 该模块位于BackBone和最后的输出网络之间。该模块包括采用最大池化方法的快速空间金字塔池化池化和实例分割框架下的路径聚合网络结构, 该模块将三个特征层中的浅层信息和深层信息进行反复特征融合再提取, 充分利用上下文信息。第三部分为输出网络, 输出网络生成的三个 20×20 、 40×40 、 80×80 特征图 (YOLO Head) 进行预测和预测解码, 直接得到图像中每个目标预测框的位置和所属类别, 如图C. 1所示。

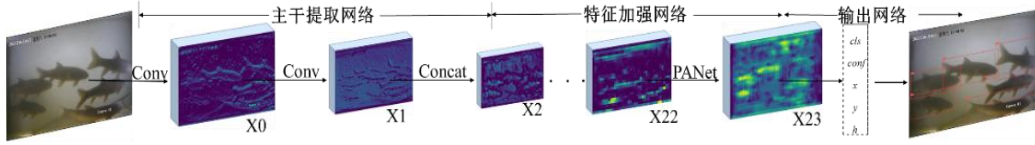


图 C. 1 预测流程图

具体识别过程为: 将待识别图像经过主干提取网络对图像进行特征提取和特征加强网络后进入到输出网络输出 13×13 、 26×26 、 52×52 的特征图网格, 如果某个目标的中心落在这个网格中, 则这个网格就负责来预测这个目标。每个网格预先设定B个不同大小和宽高比的边界框, 每个边界框包含5个预测值: t_x 、 t_y 、 t_w 、 t_h 和置信度, 置信度主要代表所预测的边界框中含有目标的置信度, 其中如果有目标落在一个网格里, 第一项取1, 否则取0。按式(C. 1)计算预测框的中心坐标 (b_x , b_y) 和宽 w 、高 h , 预测框以先验框为基础进行位置移动和大小缩放。

$$\begin{cases} b_x = \sigma(t_x) + c_x \\ b_y = \sigma(t_y) + c_y \\ w = p_w e^{t_w} \\ h = p_h e^{t_h} \end{cases} \quad (\text{C. 1})$$

式中:

$\sigma(x)$ ——Logistic函数, 计算方法见式(C. 2):

c_x 、 c_y ——特征图中每个网格的左上角坐标;

p_w 、 p_h ——边界框相对于特征图的宽和高;

t_x 、 t_y 、 t_w 、 t_h ——模型预测的中心坐标及宽和高。

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (\text{C. 2})$$

每个边界框除5个预测值外, 还输出一个类别信息, 记为C个类别。边界框的最终输出量是尺寸分别为 $13 \times 13 \times [(5+C) \times B]$ 、 $26 \times 26 \times [(5+C) \times B]$ 和 $52 \times 52 \times [(5+C) \times B]$ 三个张量, 即三个YOLO Head, 如图C. 2。最后经过非极大值抑制和交并比得到置信度最高, 位置回归得最好的预测框, 并最后输出目标鱼种类和位置。

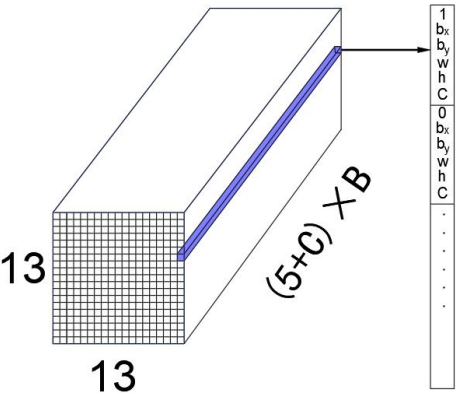


图 C.2 13×13 Yolo Head 示意图