

# 无人机河湖巡检中 RCNN 识别算法应用研究

唐桂荣<sup>1</sup>, 许 健<sup>2</sup>, 钱苏平<sup>1</sup>, 付 港<sup>3</sup>, 钱晓军<sup>3</sup>

(1. 泰州市水利局, 江苏 泰州 225300; 2. 泰州姜堰区水利局, 江苏 泰州 225500;  
3. 南京师范大学计算机科学与技术学院, 江苏 南京 210023)

**摘要:**随着经济发展与人口增长,带来了河湖治理难度增加、水体污染频发等问题,针对这些情况设计出一种基于区域卷积神经网络算法(RCNN)的无人机河湖巡检图像智能处理平台。通过聚类和构建卷积神经网络提取可能含有河湖污染的区域,利用 RCNN 对目标区域进行分类和识别,以此作为问题源构建河湖管理的闭环,较好的完成巡检目标。

**关键词:**河湖治理; RCNN; 数字图像处理

中图分类号:TV85

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)01-0034-05

## Research on application of RCNN identification algorithm in UAVS river and lake patrol inspection

TANG Guirong<sup>1</sup>, XU Jian<sup>2</sup>, QIAN Suping<sup>1</sup>, FU Gang<sup>3</sup>, QIAN Xiaojun<sup>3</sup>

(1. Taizhou Water Resources Bureau, Taizhou 225300, China;

2. Taizhou Jiangyan Water Resources Bureau, Taizhou 225500, China;

3. School of Computer and Electronic Information, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** With economic development and population growth, problems such as increasing difficulty in river and lake control and frequent water pollution have been brought about. In response to these situations, an intelligent processing platform for UAV river and lake inspection images based on regional convolutional neural network algorithm (RCNN) was designed. Through clustering and constructing a convolutional neural network, areas that might contain river and lake pollution were extracted, and RCNN was used to classify and identify the target area, which was used as the source of the problem to construct a closed loop of river and lake management, and to better complete the inspection target.

**Key words:** river and lake management; RCNN; digital image processing

江苏省跨江滨海,河湖众多,水网密布,共有大小河流和人工河道 2 900 多条,陆域水面面积达 1.73 万 km<sup>2</sup>,水面所占比例之大,在全国各省中居首位。近年来随着经济发展与人口增长,河湖治理工作量显著增加,水体污染等问题频发,制约了江苏现代化社会的可持续发展。

为进一步加强全省河湖管理与保护,健全长效机制,陆续出台并实施的以河道定期巡检为抓手的河长制工作方案,在发挥巨大作用的同时也产生了诸如“人治主义”“短期效应”“被动应对”等问题。其主要不足可概括为以下几点:①人工巡查费时耗力,且因为绝大部分河湖位于农村等自然地理条件

收稿日期:2020-01-06

基金项目:江苏省水利科技项目(2019052)

作者简介:唐桂荣(1978—),工程师,主要从事河湖治理、河长制管理工作。E-mail:874783521@qq.com

相对比较恶劣的地区,加之河道自身的不利因素,如蜿蜒曲折、水质状况差等,给人工巡检带来诸多不便和局限,造成巡检效果差、费用高、效率低;②对巡检中发现的问题采用人工报表向上报告的方式,工作强度大,问题发现不及时,处理流程长,监督不方便,事后无跟踪;③原来的河湖管理留存工作有一些纸质的资料档案,没有建立相应的数字化档案,不方便查阅。

以上这些问题成为制约水利环保事业发展的瓶颈。为解决上述问题,开发出一款河湖巡检图像智能处理平台迫在眉睫。而国内外不少学者都在进行河湖管理和计算机视觉的有关研究工作,刘琼等<sup>[1]</sup>曾研究了利用卷积神经网络对训练样本进行特征提取并使用全连接网络对特征进行分类,运用该方法可以解决河道物体识别的问题;徐露露<sup>[2]</sup>从正交实验设计的角度出发,提出了用正交实验设计选择 CNN 的超参数的方法,可以有效地对图像的各个参数进行正交组合,从而获得大量训练样本,解决了样本训练源不足的问题;Mahmood 等<sup>[3]</sup>描述了如何利用无人机航拍图像生成 3D 地图,实现水利设施的长效管理,并详细讨论了图像的精细验证方法;Pierdicca 等<sup>[4]</sup>介绍了一套结合 GIS 和 AR 技术,实现流域治理的智能化终端设备,并指出该设备经过实地监测检验,有效的提高了相关部门开展大范围水利监测的效率。

基于前人们的研究成果,结合实际的河湖管理情况,本文研发出以区域卷积神经网络算法 RCNN (region convolution neural network) 为核心的无人机河湖巡检图像智能处理平台。希望通过这个平台提高河湖管理信息化管理水平。

## 1 系统结构设计

### 1.1 系统开发平台

以 Microsoft Visual C++ 2019, OpenCV 3.0 作为开发工具, SQL Server 2014 作为支持数据库,使用 iMAG app 开发平台作为移动端开发工具,采用快速原型模型(Rapid Prototype Model)法来快速实现需求、验证算法,以 4 台浪潮服务器构建 1 个简单的服务器集群,提供网络、数据库、集成开发环境等服务。

### 1.2 系统功能架构

基于 RCNN 的无人机河湖巡检图像智能处理平台采用 C/S 模式和 B/S 模式混合型结构,系统的主要业务应用功能均在 B/S 模式下实现。系统功

能架构如图 1 所示。

## 2 水面漂浮物识别技术

无人机航拍图像中场景复杂,阳光在水面的照射、水面污染物与陆地某区域颜色相近、非河流区域的颜色与河流区域相近、河岸线曲折且河岸绿藻生长与岸边植物颜色相似等问题都影响了对污染物的识别。河道作为绿色漂浮物、大面积油污、废弃船只等污染物的载体,对图像内河道是否分割完全成为能否进一步识别河道内污染物的关键。因此,本文制定了先提取河道,再基于河道进一步识别水面污染物的总体技术流程。

### 2.1 基于混合图像分割算法的河道提取

图像分割是实现目标检测、目标识别、目标跟踪的关键基础。对彩色图像的分割因其划分像素的依据不同,对应的图像分割算法也不同。本文运用 k-means++ 聚类算法进行图像分割,该算法可以使得初始簇中心尽可能相互分离,以避免迭代运算陷入局部最优解<sup>[5]</sup>。然而复杂背景下仅仅以聚类方式基于颜色信息进行图像分割会造成图像“过分割”现象。

为了使分割结果更接近理想分割图像,通常需基于“过分割”的结果进行区域合并。而使用区域合并方式则需考虑到区域相似性度量准则、区域合并机制、区域合并状态值等因素<sup>[6]</sup>。

#### 2.1.1 区域相似性度量

根据每个连通域与邻域间的颜色差异度、边缘相邻度、边缘跳跃度和邻接关系,获取区域相似度,所述区域相似度的计算公式为

$$(\rho_1 d_{istij}^c + \rho_2 d_{istij}^s + \rho_3 d_{istij}^{enh} + \rho_4 d_{istij}^{es}) \cdot \delta_{ij} \quad (1)$$

式中:  $\rho_1$  为颜色相似度系数;  $d_{istij}^c$  为颜色相似度;  $\rho_2$  为面积差异度系数;  $d_{istij}^s$  为面积差异度;  $\rho_3$  为边缘邻接度系数;  $d_{istij}^{enh}$  为边缘邻接度;  $\rho_4$  为边缘相似度系数;  $d_{istij}^{es}$  为边缘相似度;  $\delta_{ij}$  为邻接关系。

#### 2.1.2 区域合并机制

之后选择待合并的区域对,根据区域合并标号选择机制,为区域合并后的标号选择提供决策,所述选择机制公式为

$$S(i, j) = \begin{cases} w_{CD_i}, B_{CD_i}^j = \emptyset \\ w_{CD_j}, B_{CD_i}^j \neq \emptyset \cap CD_i \subset O_{B_j} \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $S(i, j)$  为第  $i$  个区域和第  $j$  个区域合并后选择的标号;  $w_{CD_i}$  为第  $i$  个区域的标号;  $B_{CD_i}^j$  为在  $CD_j$  邻域中比  $CD_i$  面积大、区域标号  $j$  个和相同的区

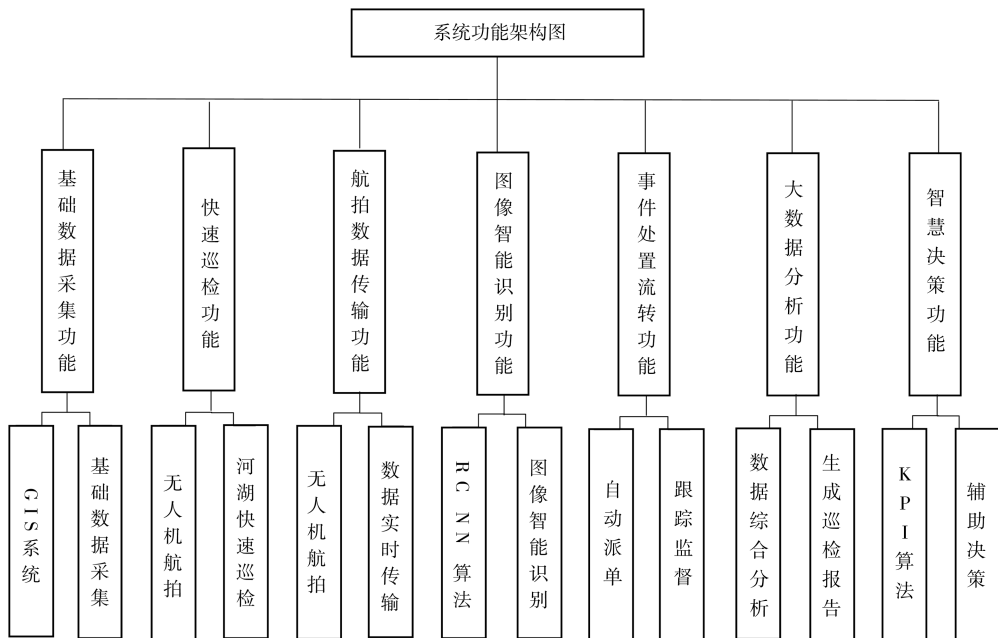


图1 系统功能架构图

域集合； $CD_i$  为第  $i$  个区域集合； $O_{BJ}$  为目标物集合。

### 2.1.3 区域合并状态值

依据每次迭代后的区域剩余率、色散度和边缘跳跃度，获取得到合并状态值，所述合并状态值的计算公式为

$$B_{estmerge, K_r} = \min \left( \frac{1 + E_{K_r}}{2 + E_{K_r}} \cdot K_r + \frac{1}{2 + E_{K_r}} \cdot J_{K_r} \right) \quad (3)$$

式中： $B_{estmerge, K_r}$  为合并状态值； $E_{K_r}$  为区域边缘差异度； $K_r$  为区域剩余率； $J_{K_r}$  为区域色散度。

最后由所述合并状态值，从 Maxiter 次迭代后的所有合并状态值中选出最小值，并将所述最小合并状态作为最佳合并状态，同时输出所述最佳合并状态下的连通域集合和区域标号集合。

### 2.2 基于 RCNN 的图像识别算法

在对图像已经进行河道分割的基础上，本文使用基于 RCNN 的识别算法对图像中污染物进一步识别。

RCNN(区域卷积神经网络)是对 CNN(传统卷积神经网络)的改进，主要由输入层、卷积层、池化层、全连接层和输出层构成<sup>[7]</sup>。其工作原理主要依据多个卷积层和多个池化层构成了多个降采样层，再分别链接到输入层的输出和全连接层的输入上，层层进行传递信息，最后由回归器输出结果。

其具体实现主要分为以下 5 个步骤：

(1)生成候选区域集：卷积神经网络采用选择性搜索算法，在通常情况下会生成 2 000 个左右的

图像特征区域，这些候选集的大小、位置都不相同，也可以重叠。

(2)调整候选集：通过第一步生成的图像特征区域候选集大小和尺寸并不是相同的，无法直接作为神经网络的输入，再将提取到的候选集通过各异性缩放到了统一的大小，在缩放之前会对原始的图片边缘进行填充形成缓冲带。

(3)卷积网络提取特征：将上一步获得的 2 000 个大小统一的图片作为预训练好的图像分类模型的输入来提取图像特征。

(4)特征分类：第三步的神经网络提取特征后与 SVM 分类器相连，并且需要将所有提取到的特征分别输入到每个类别对应的 SVM 分类器上。最后每个 SVM 分类器都会得到图像对于该类别的得分和置信度，置信度最高的类别为改图像区域对应的预测类别。

(5)BoundingBox 回归：第一步生成候选集区域的偏差是比较大的，无法作为最后目标检测框，所以需要重叠比较大的候选区域进行线性回归来得到最后精准的检测框。流程图如图 2 所示。

## 3 应用实例

目前泰州市姜堰区境内有 22 条区级以上河湖，长度合计约 379.8 km(湖面面积约 670 hm<sup>2</sup>)，水利部门大约每 10d 要对这些河流进行一次巡检。前期主要使用人工巡检方式，存在着效果差、费用高、效率低等不足，并且没有建立数字化档案也给后续

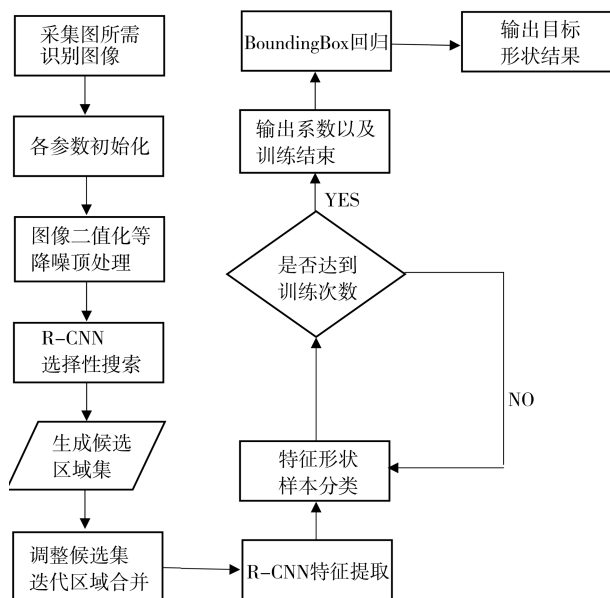


图 2 基于 RCNN 的水面漂浮物识别流程图

巡检工作带来诸多不便。而本文研发出的软件系统能够实现从问题发现、问题上报、问题分配,到问题处理、问题反馈这样一个相对完整的问题处置闭环,解决以往人工巡检模式中的一些弊端。

### 3.1 系统运行机制

系统初步建成了泰州市姜堰区内河湖信息基础感知体系,通过结合无人机巡检、地理信息存储、数字化图像拼接、目标图像分类识别和污染问题反馈等运行机制,推动了区域内水利、环保综合业务精细化、数字化、智能化管理,提升科学决策调度管理水平。系统功能界面见图 3。



图 3 系统功能界面

系统运行机制主要有以下几个步骤:

(1)对无人机巡检中拍摄的所有照片加载唯一编号、日期、地理坐标、飞行高度等信息后,存储于平台软件系统数据库中,通过图像处理平台,把原始数字影像转变为任何专业的基于 GIS 的系统平台软件都可以读取的数字正射影像和数字高程模型数据,见图 4。

(2)对无人机巡检采集得到的数字化图像进行拼接处理,将一次飞行得到的数百张有重叠部分



图 4 照片地理信息存储到系统数据库

(包括不同时间、不同视角、不同摄像头)的图片经过几何校正、基于 SURF (speeded up robust features) 的特征点提取与匹配、图像配准、变换矩阵计算、图像融合后,拼成一幅大型的无缝高分辨率图像,见图 5。

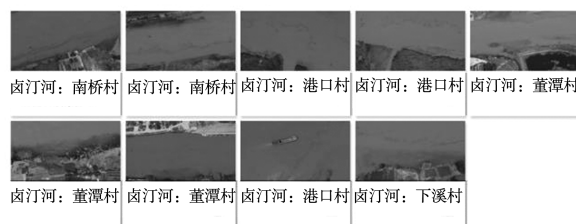


图 5 图像拼接

(3)对拼接得到的图像通过基于混合图像分割算法进行河道提取,之后再利用改进的区域卷积神经网络(RCNN)的选择性搜索(selective search)算法<sup>[8]</sup>对图片生成多个候选区域,然后通过贪心策略去计算相邻候选集之间的相似度,再通过相似度的大小去合并候选集,直到产生目标个数的候选集,从而筛选出理想目标图像。通过使用无监督学习得到的相对较优权值对卷积神经网络进行逐层优化,使得神经网络前向计算得到的特征基底较随机初始化得到的特征更接近全局最优点,从而得到相对误差最小的训练样本,从而进一步筛选出最理想目标图像,实现目标图像分类识别。

(4)对发现的部分水体污染问题,反馈至环保治理小组,通过分析污染可能的原因,给出诊断,结合地方政府或管理部门对河道的水质及功能的要求,提出治理方案和建议,供地方管理部门作为决策依据。

## 4 结 论

研发的系统实现了区域内河湖管理数据的“采集、巡查、传输、识别、流转、分析、决策”全过程管理。

通过 4G 或者 5G 信号传输,在无人机拍摄后 3~5 min 内就可以传回到指挥控制中心,由中心的 GPU 图像处理工作站根据设定好的程序立即进行

智能判读分类,经过系统人工审核确认后转送问题流程处理系统,立即告知所在河段的负责人,附上相应的图片和问题的描述,并要求在系统规定的时间内对问题的处理结果进行反馈,引入 KPI 考核体系,对长期累积的图像、问题的描述等进行大数据分析处理,提出针对性的可行方案,供领导辅助决策。

#### 参考文献:

- [1] 刘琼,李宗贤,孙富春,等. 基于深度信念卷积神经网络的图像识别与分类[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2018, 58(9):781-787.
- [2] 徐露露. 基于深度卷积特征的迁移学习在图像识别上的应用研究[D]. 广州:华南理工大学, 2018.
- [3] MAHMOOD Z, SAFDER I, NAWAB RMA, et al. Deep sentiments in Roman Urdu text using recurrent convolutional neural network model[J]. Information Processing and Management, 2020, 57(4):25-27.

- [4] PIERDICCA R, PAOLANTI M, NASPETTI S, et al. User-centered predictive model for improving cultural heritage augmented reality applications: an HMM-based approach for eye-tracking data[J]. Journal of Imaging, 2018, 4(8):101.
- [5] 周世兵,徐振源,唐旭清. K-means 算法最佳聚类数确定方法[J]. 计算机应用, 2010, 30(8):1995-1998.
- [6] 温尧乐,李林燕,尚欣茹,等. 一种改进的 Mask RCNN 特征融合实例分割方法[J]. 计算机应用与软件, 2019, 36(10):130-133.
- [7] 赵文清,程幸福,赵振兵,等. 注意力机制和 Faster RCNN 相结合的绝缘子识别[J/OL]. 智能系统学报: 1-7[2020-04-01].
- [8] BA ROM KANG, HYUNKU LEE, KEUNJU PRK, et al. BshapeNet: Object detection and instance segmentation with bounding shape masks[J]. Pattern Recognition Letters, 2020(131):1.

(上接第 33 页)

### 3.5 围堰拆除

完成钢围堰安装堵漏排水后,组织土建施工或各项修补作业,各项干法施工内容结束后可拆除围堰,请注意只有在混凝土强度、各项修补材料(强度、硬度等指标)达到相应标准后方可注水拆除围堰。拆除前应将堰内的建筑废渣、辅助施工设施全部清理干净,然后向钢围堰内注水直至内外水位相平,拆除其外部支撑加固结构,吊装钢围堰至下一个工作面施工。

## 4 “U”型钢围堰施工技术特点

(1)施工方便。钢围堰工场制作,现场安装,施工方便。

(2)对闸站运行管理影响小。利用钢围堰和建筑物自身结构形成封闭空间,抽空围堰内河水实现干法施工条件,汛期或特殊紧急情况下除维修闸孔外其余闸孔可实现正常运行。

(3)钢围堰可周转使用。根据涵闸不同的结构形式,对钢围堰进行局部改装,可实现周转使用。

(4)施工成本低。与全断面围堰抽干闸塘河水等施工方案施工成本相比,采用钢围堰进行水下施

工成本较低。

## 5 结 语

“U”型钢围堰适用于涵闸水下底板、墩墙、门槽底槛等部位的除险改造、维修加固等工程项目。本技术在盐城市斗龙港闸除险加固工程、苏州太浦闸加固工程、盐城市黄沙港闸加固改造工程的实际应用,取得了工期短、质量优、效益佳的良好效果。该技术在水闸建筑物修复施工中有重要的推广使用价值。

新工艺的创新是“科学技术就是生产力”的具体表现,也是技术进步、新时代发展的必然要求,本技术采用水下“U”型钢围堰解决的水下干法施工的老问题,经济优势明显、极具发展潜力。

#### 参考文献:

- [1] 孔得兵,夏长城. 基于水闸混凝土构件老化和加固技术剖析[J]. 江西建材, 2016(2):122-124.
- [2] 沈万红,陈德胜. 水闸闸门槽水下修复技术[J]. 水利建设与管理, 2006(1):64-65.
- [3] 顾志鸿. 水闸水下部位除险加固方法探讨及应用实践[J]. 江苏水利, 2009(5):27-29.