

# 高分辨影像的复杂水边界自动分类提取方法研究

孙慧敏<sup>1</sup>, 杨松<sup>1</sup>, 王正洋<sup>2</sup>

<sup>1</sup>长江水利委员会水文局长江口水文水资源勘测局, 上海

<sup>2</sup>长江水利委员会水文局汉江水文水资源勘测局, 湖北 襄阳

收稿日期: 2024年7月25日; 录用日期: 2024年10月18日; 发布日期: 2024年12月31日

## 摘要

水边界信息是重要的地理专题信息, 从遥感影像数据源中提取、识别出的水体要素信息被广泛应用于测绘、水利等诸多领域, 常作为水陆一体化DEM快速构建的重要地理特征线。以汉江中下游某水域复杂河段为实例, 基于无人机低空摄影测量获取的高分辨率正射影像, 研究面向对象分类方法, 提出了综合优化的多种可见光植被指数组合方法, 用于高分辨影像的复杂水边界自动分类提取, 并采用空间合并以及数据类型转换的方法, 进行复杂水体边界线的制作。

## 关键词

高分辨率影像, 面向对象分类, 综合可见光植被指数, 复杂水边界

# Research on Automatic Classification and Extraction of Complex Water Boundary in High-Resolution Images

Huimin Sun<sup>1</sup>, Song Yang<sup>1</sup>, Zhengyang Wang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Survey Bureau of the Hydrology and Water Resources of Changjiang Estuary, Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Shanghai

<sup>2</sup>Hanjiang Bureau of Hydrology and Water Resources, Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Xiangyang Hubei

Received: Jul. 25<sup>th</sup>, 2024; accepted: Oct. 18<sup>th</sup>, 2024; published: Dec. 31<sup>st</sup>, 2024

## Abstract

Water boundary information is an important geographical thematic information. Water element infor-

作者简介: 孙慧敏(1988-), 女, 江苏南通人, 汉族, 工程师, 主要从事河道勘测及水文水资源, Email: 782230908@qq.com

文章引用: 孙慧敏, 杨松, 王正洋. 高分辨影像的复杂水边界自动分类提取方法研究[J]. 水资源研究, 2024, 13(6): 642-650.

DOI: 10.12677/jwrr.2024.136072

mation extracted and identified from remote sensing image data sources is widely used in mapping, water conservancy and other fields, and is often used as an important geographical feature line for the rapid construction of land-water integrated DEM. Taking a complex river section in the middle and lower reaches of the Han River as an example, this paper studies object-oriented classification methods based on high-resolution orthophoto images obtained by low-altitude photogrammetry of unmanned aerial vehicle (UAV), and proposes a comprehensive optimization of multiple visible vegetation index combination methods for automatic classification and extraction of complex water boundaries in high-resolution images, and adopts spatial merging and data type conversion methods to make complex water boundary.

## Keywords

High-Resolution Image, Object-Oriented Classification, Combined Visible Light Vegetation Index, Complex Water Boundary

Copyright © 2024 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来,随着无人机航测技术的发展,作业效率高、数据采集数字化的无人机低空摄影测量已经成为了地物信息获取的一种主要手段。无人机低空摄影测量技术获取的高分辨率正射影像相对航空遥感影像具有更加明显的地物几何特征和纹理特征,包含更丰富的空间信息,从而能够更加容易地获取地物类别属性信息。水体边界信息是重要的地理专题信息,从遥感影像数据源中提取、识别出的水体要素信息被广泛应用于测绘、水利等诸多领域,常作为水陆一体化 DEM 快速构建的重要地理特征线。

传统的基于像素的分类方法适用于中低分辨率卫星遥感影像,且地物间的光谱差异非常明显。而普通无人机提供的高分辨率影像通常只包含较少的波段,光谱信息单一,并且分辨率较高,采用传统基于像元的分类方法会产生椒盐效应,分类精度低。面向对象分类方法综合利用了光谱信息、纹理信息、空间形态结构和上下文等多源信息,将影像分割为具有同质性的相邻区域,然后根据不同的分类规则以及对象间的拓扑关系将对象识别为不同地物分类精度较高,从而提高分类提取的精度[1][2]。由于无人机高分辨率影像只包含 3 个波段,无法利用传统水体指数提取水体,基于高分辨率正射影像常采用人工解译进行水体边界线的描绘与提取,效率低、耗时费力。针对如何基于无人机低空摄影测量获取的高分辨率正射影像,快速、精确地进行水边界信息自动提取,成为现阶段研究面向数字孪生流域建设的水陆一体化数字高程模型构建的关键问题。

## 2. 基于无人机影像的面向对象复杂水边界分类方法研究

无人机影像的地面分辨率要远高于卫星影像,可以更清晰的反映地物的光谱、纹理和空间等方面的信息。而面向对象的分类方法对高地面分辨率影像分类有着广泛应用。本文将从面向对象分类方法,探讨影像分割、针对厘米级分辨率的正射影像进行复杂水边界的自动提取。

基于可见光植被指数和面向对象分类方法提取水体边界的技术流程见图 1 所示。综合利用可见光植被指数提取复杂水体边界主要分为三个部分:第一部分是对航摄影像进行预处理,包括航带拼接、空三解算及影像裁剪,结合无人机低空摄影测量技术获取研究区域的高分辨率正射影像;第二部分是对预处理后的影像进行水体提取,结合可见光植被指数作为提取依据,综合对比分类效果,组合植被指数采用面向对象分类方法进行影像分割及分类;第三部分是结合 GIS 空间分析技术,采用融合工具实现分割对象的合并,并实现水体面转水体边界线矢量数据,与正射影像进行对比。

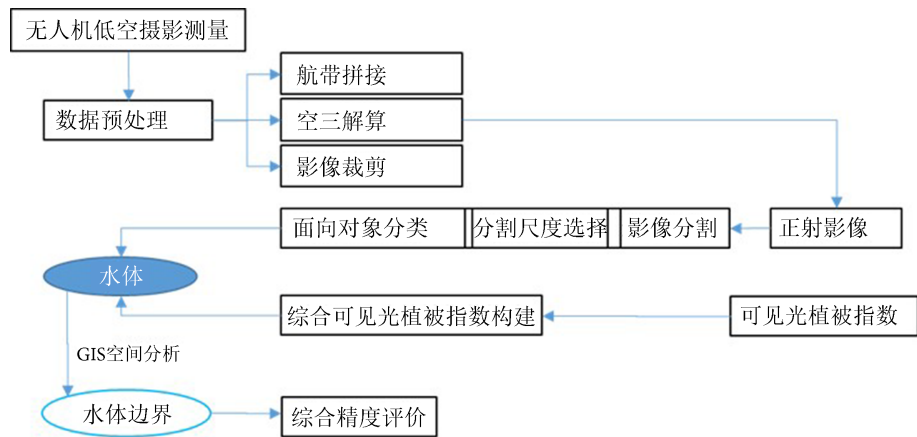


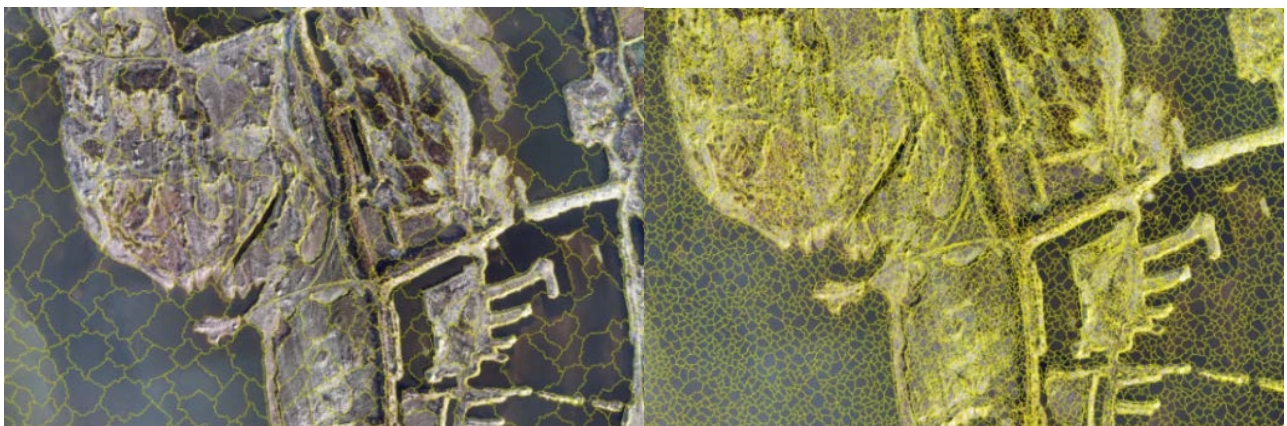
图 1. 技术流程示意图

## 2.1. 面向对象的无人机影像分类

面向对象分类方法，通过对影像的分割，使同质像元组成大小不同的对象，根据影像的光谱、纹理、亮度等地物特征，将具有同等或者相似特征的像元划分到同一个像元集合中，对所需要地物像元集合的特征进行人机交互的分类规则构建，进而完成对影像的分类。面向对象分类方法主要包括影像分割、影像特征、分类规则和信息提取。分类的流程主要包括以下几个方面：1) 对经过处理的无人机影像进行分割合并，形成多个具有相似特征的对象；2) 根据提取要求，对包含需要提取地物的对象进行影像特征解析，选取该地物所特有的、能够区分其他地物的主要影像特征，进而选取分类算法，构建分类规则体系；3) 根据分类算法和规则，完成主要分类目标的信息提取。

### 2.1.1. 多尺度影像分割

多尺度影像分割是遥感影像分析的关键步骤，影像分割过程中的尺度参数选择直接关系到面向对象影像分析的质量和精度。多尺度影像分割是一种既能自动生成遥感影像的影像对象，又能将这些影像对象按等级结构联接起来的一门技术。多尺度影像分割从任一个像元开始，采用自下而上的区域合并方法形成对象，可以理解为一个局部优化过程，而异质性则是由对象的光谱(spectral)和形状(shape)差异确定的，形状的异质性则由其光滑度和紧凑度来衡量[3]，同一区域影像的不同分割尺度结果如图 2 所示。



(a) 影像分割尺度设置 200

(b) 影像分割尺度设置 35

图 2. 不同分割尺度结果

2.1.2. 影像对象特征信息

高分辨率的影像包含了丰富的影像分类的特征信息，对象特征信息的组织结构框架图见图 3 所示。在影像分类时，并不是说所选取的影像对象的特征信息越多，影像分类结果的精度就会越高，有的时候选择的影像特征太多，最终得到的影像分类的精度反而降低，而且还增加了分类算法的数学计算量，增加了时间成本。针对复杂水边界的自动提取，针对高分遥感影像包含的光谱信息、形状特征与纹理特征进行了提取，并以此作为影像分类主要的类别判别的特征因子。对象的特征参数计算主要包括光谱、几何和拓扑特征等，光谱特征又主要包括均值、标准差等；几何特征主要包括形状、纹理、拓扑等；拓扑特征是指对象间的相邻、相接、包含等拓扑关系。

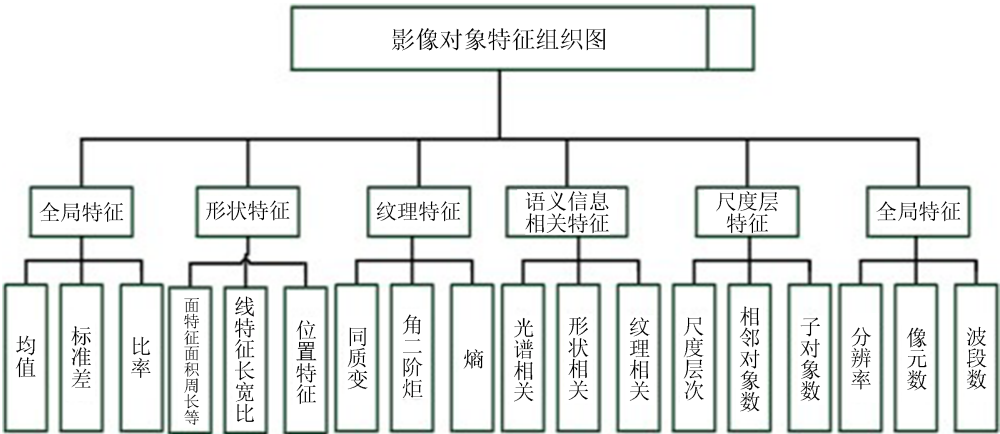


图 3. 影像对象特征组织图

2.1.3. 分类规则建立

多尺度分割后，影像的基本单元已不是单个像元，而是由同质像元组成的多边形对象。面向每一多边形对象可计算出所包含像元的光谱信息以及多边形的形状信息、纹理信息、位置信息以及多边形间的拓扑关系信息等。具体的分类规则可以充分利用对象所提供的各种信息进行组合，以提取具体的地物。

2.2. 可见光植被指数综合优化组合

无人机可见光影像具有高清晰、大比例尺的优点，但无人机可见光影像大多只有红(r)、绿(g)、蓝(b)三个波段。与多波段卫星遥感影像相比，无人机可见光影像虽然具有更高的空间分辨率，但波段信息较少，无法使用传统的指数法来提取地物信息。

植被指数是指利用两个或多个波长范围内的地物反射率进行组合运算，以增强植被的某一特性或细节，达到将植被与非植被分离的目的。目前，在科学文献中发布了超过 150 种植被指数模型，但这些模型中只有少数部分经过系统的大量的实践检验。在已有植被指数中，大多数是利用可见光与近红外范围的波段进行组合运算以增强植被某一特性或细节，主要包括宽带绿度指数、窄带绿度指数、光利用率指数、冠层氮指数、干旱或碳衰减指数、叶绿素指数与冠层含水量指数等 7 大类。但是仅基于可见光波段构造的植被指数相对较少，主要包括过绿指数(EXG)、归一化绿红差异指数(NGRDI)、归一化绿蓝差异指数(NGBDI)、红绿比值指数(RGRD)、绿蓝比值指数(GBRI)、超红指数(EXR)、红绿蓝植被指数(RGBVI)等部分可见光植被指数，详见表 1。

首先，通过对图像的 RGB 色彩空间进行归一化处理，可以去除光照和阴影等影响，通过对可见光通道进行标准化(公式(1))，将像元值调整到[1, 0]区间，以减小可见光植被指数的量级，引入常见的可见光植被指数，对其进行定性定量分析，最终筛选出合适的可见光植被指数参与水边界提取。



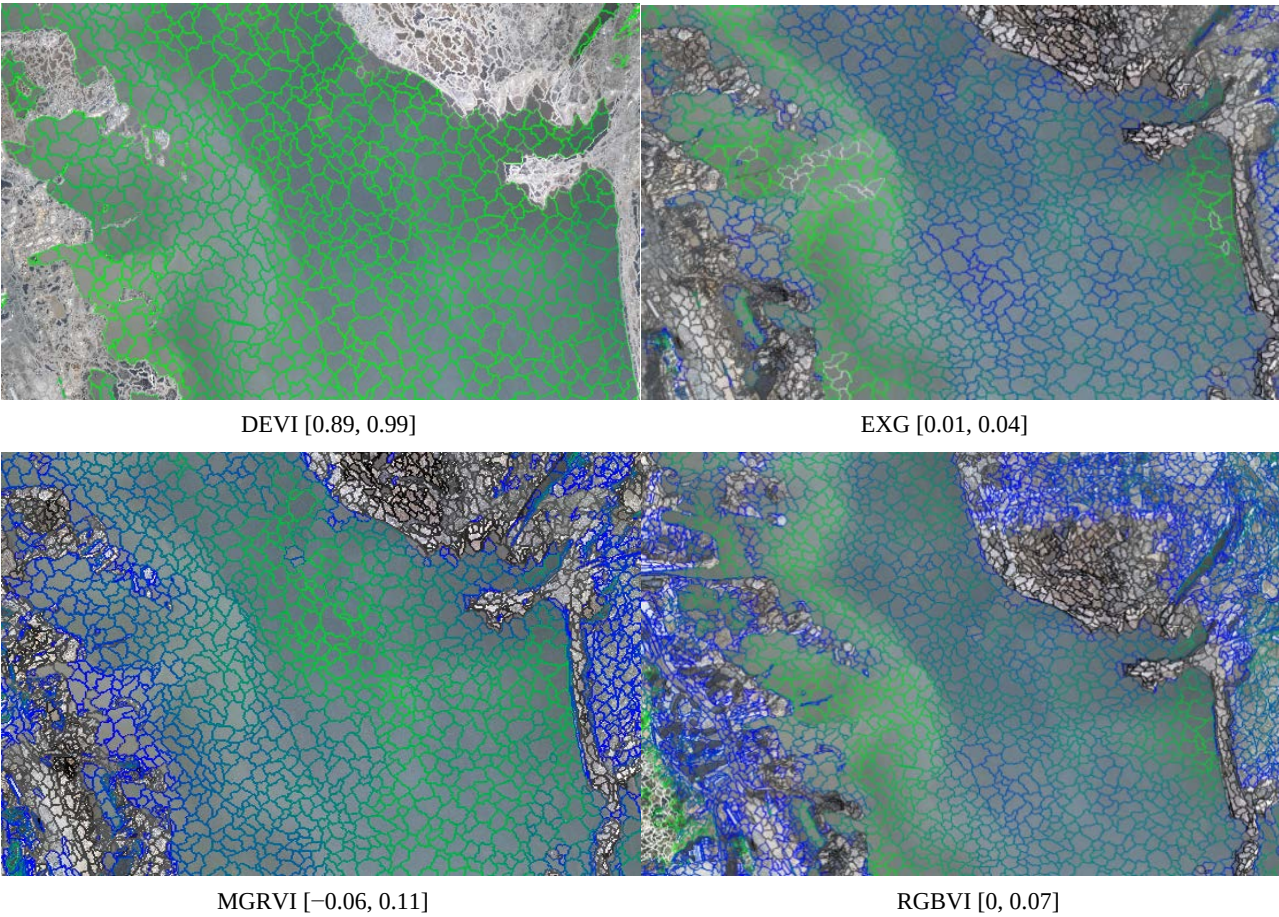
$$r = \frac{R}{R+G+B}; g = \frac{G}{R+G+B}; b = \frac{B}{R+G+B} \tag{1}$$

式中：R、G、B 分别为红光通道、绿光通道、蓝光通道；r、g、b 分别为红光、绿光、蓝光通道的标准化结果。

表 1. 可见光植被指数表

| 可见光植被指数     | 简称    | 计算公式                                                  | 参考文献 |
|-------------|-------|-------------------------------------------------------|------|
| 过绿指数        | EXG   | $2 * g - r - b$                                       | [5]  |
| 超红指数        | EXR   | $1.4r - g$                                            | [6]  |
| 归一化绿红差异指数   | NGRDI | $(G - R) / (G + B)$                                   | [6]  |
| 红绿比值指数      | RGRI  | $r / g$                                               | [7]  |
| 红绿蓝植被指数     | RGBVI | $(G^2 - B * R) / (G^2 + B * R)$                       | [7]  |
| 改进型绿红植被指数   | MGRVI | $(G^2 - R^2) / (G^2 + R^2)$                           | [7]  |
| 可见光植被指数     | DEVI  | $\frac{G}{3 * G} + \frac{R}{3 * G} + \frac{B}{3 * G}$ | [8]  |
| 可见光波段差异植被指数 | VDVI  | $\frac{2 * G - R - B}{2 * G + R + B}$                 | [8]  |
| 超绿超红差异指数    | VI    | $2 * g - r - b - (1.4 * r - g)$                       | [4]  |

其次，利用各植被指数法从分割结果中提取初始水体信息，详见图 4 所示。





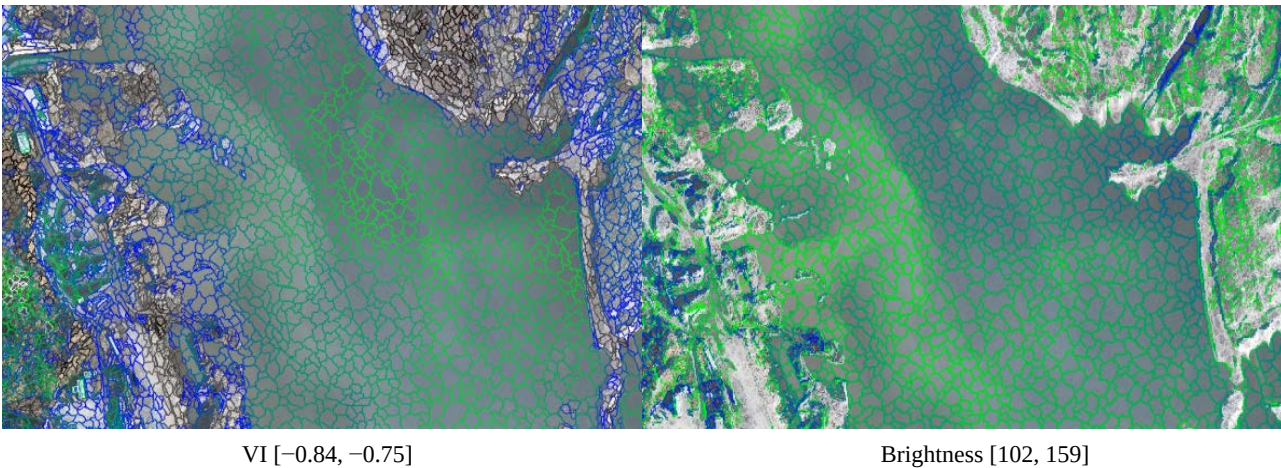


图 4. 几种植被指数取值范围下的影像分割结果

根据高分辨率影像水体信息，最优选取 VI 植被指数以及 EXG 植被指数、RGBVI 植被指数、以及 Brightness 指数等进行区间组合，通过几种植被指数的综合优化组合，可以自动分类出较为完整正确的研究区域复杂水体边界信息。

1)  $-0.87 \leq VI \leq -0.71$ ; (2)

2)  $EXG \geq 0.005$  and  $Brightness \leq 158$  and  $RGBVI \geq 0.018$ 。 (3)

公式(2)和公式(3)为对应植被指数的取值区间，通过上述两个公式进行组合分类规则，可较为准确地分类出水体信息。

### 3. 应用实例

#### 3.1. 研究区域概况

研究区域位于汉江中下游老河口城区河段。受山丘阶地及人工束窄作用，研究区域的河道平面上呈明显的藕节状，该河段河床宽浅散乱，宽窄相间，洲滩密布，汉道丛生，以及往年人工采砂影响，使得该河道内浅滩、堆砂散布，流场多变且极不稳定，形成零星散落的封闭水域，水体边界非常复杂。见图 5。



图 5. 研究区域概况

3.2. 数据获取及预处理

无人机低空摄影测量采用设备为飞马 E2000 无人机, 具备 IMU/GPS 辅助航摄功能, 航测相机像素满足 4200 万像素以上, 地面分辨率满足 7~8 cm。航向重叠 75%, 旁向重叠 50%, 像片倾斜角小于 5°。航测内业数据处理通过航测照片及像控点进行空三加密处理, 进而获取数字正射影像(复杂水边界区域影像见图 6 所示), 颜色饱和和无云影和划痕, 层次丰富, 反差适中, 地物成像清晰。



图 6. 无人机航测获取高分辨率正射影像(分辨率 0.2 m)

3.3. 最优分割尺度选择

按照光谱、形状等几个可调整标准对影像进行分割, 综合调整尺度参数可间接改变影像对象平均大小, 大参数值得到大对象, 反之亦然。采用多种分割尺度对影像进行分割, 并对照影像选择最优分割尺度。不同分割尺度选择和不同参数条件下的分割情况, 详见图 7 所示, 当分割尺度小于 50 时, 存在大量过度分割, 结果相当破碎; 当分割尺度大于 100 时, 出现大量的混合对象。本文在对无人机影像进行充分目视解译的基础上, 受水体边界相对复杂, 选择最优分割尺度为 50, 形状因子为 0.4, 紧致度为 0.6, 作为研究区域的最优分割尺度。

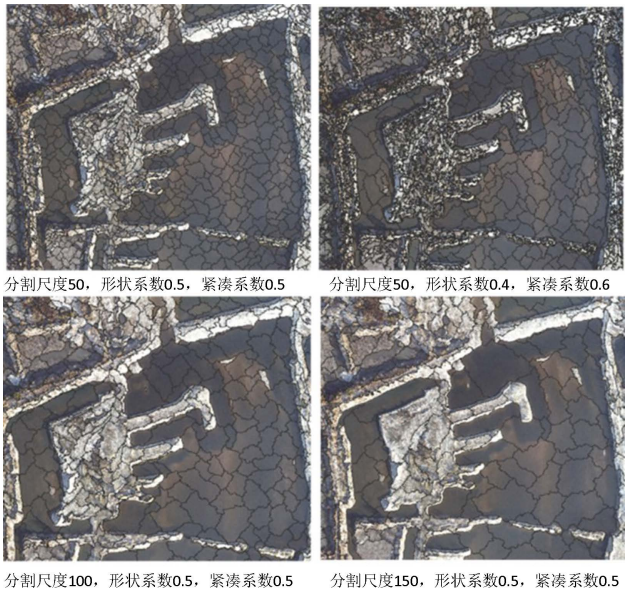
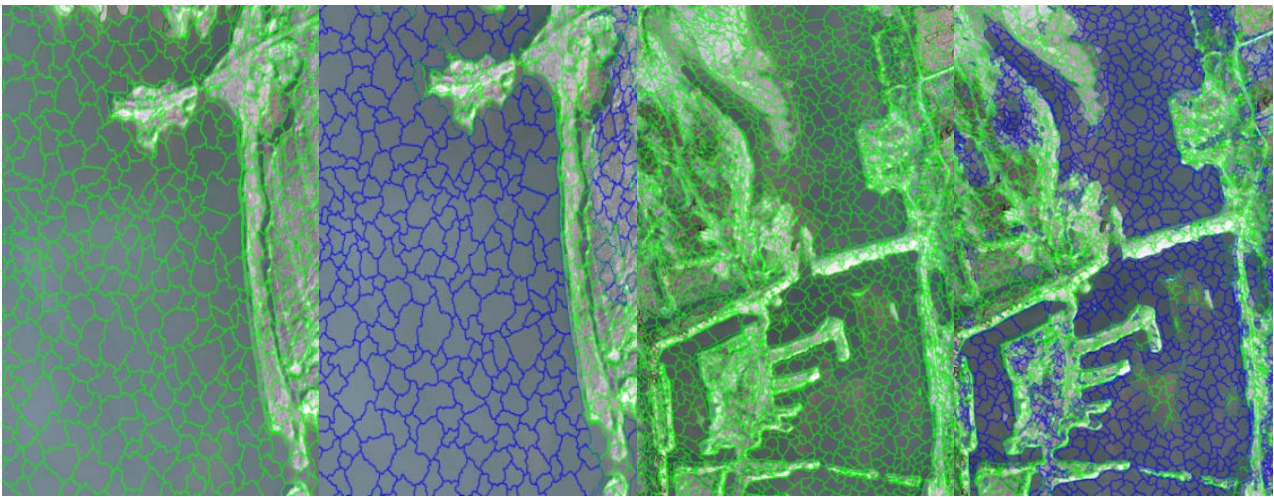


图 7. 最优分割尺度选择对比效果



3.4. 可见光植被指数综合优化组合提取

本文在研究区域根据各植被指数分类的初始水边界基础上，尝试了多种植被指数的组合方式，选取 VI 植被指数以及 EXG 植被指数、RGBVI 植被指数、以及 Brightness 指数等进行区间组合，采用公式(2)和公式(3)两个步骤进行水体边界的自动提取分类，效果详见图 8 所示。



(a) 研究区域某水域 1 提取的水体边界效果图 (b) 研究区域某水域 2 提取的水体边界效果图

图 8. 可见光植被指数综合优化提取水体结果图

根据综合植被指数建立的分类规则，分类后的水体矢量数据，可再根据 ArcGIS-Dissolve 工具进行融合。Dissolve(融合)需要选择一个或者多个指定的属性字段，融合的要素必须具有相同的几何类型，可以简单理解为具有相同属性要素集成一个要素集。基于 GIS 的空间分析功能，将水体矢量面转水体边界线，实现水体边界线信息提取，将自动提取的水体边界线叠加到影像图，根据人工解译水边线与自动提取的水体边界线进行对比，可以看出对于可见光对比度相对较大的水陆分界线提取的精度比较好，详见图 9。对于存在水体反光较弱，或者水深较浅的水陆分界线提取的精度较差。

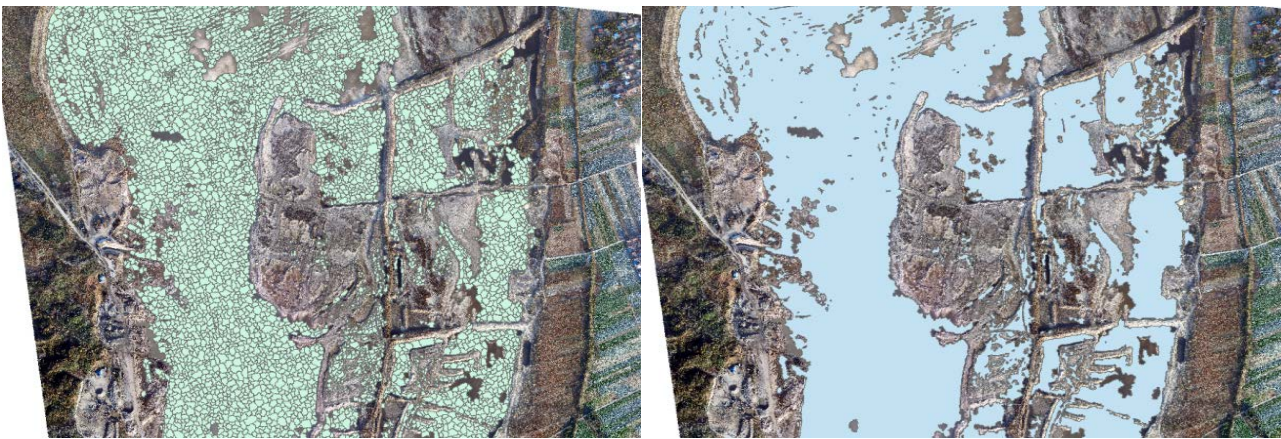


图 9. 分类水体融合前后结果显示

4. 结论

基于无人机低空摄影测量技术获取的高分辨率正射影像，相对航空遥感影像具有更加明显的地物几何特征



和纹理特征, 包含更丰富的空间信息, 从而能够更加容易地获取地物类别属性信息。但是, 无人机可见光影像大多只有红(r)、绿(g)、蓝(b)三个波段, 只含有 **rgb** 三个波段, 无法使用传统的指数法来提取地物信息。本文研究面向对象分类方法, 选取了较为复杂水体边界的汉江中游河段, 提出了综合植被指数组合提取水体边界的方法, 该方法可以较为快速、准确地自动提取水体边界信息, 作为水陆一体化 DEM 构建的重要地理特征线。

### 参考文献

- [1] 金梦婷, 徐权, 郭鹏, 等. 基于面向对象多特征学习的无人机影像农作物精细分类方法[J]. 遥感技术与应用, 2023, 38(3): 588-598.
- [2] 张艳超, 杨海龙, 信忠保, 等. 基于面向对象和无人机影像的黄土高原丘陵区小流域梯田提取研究[J]. 水土保持学报, 2023, 37(3): 139-146.
- [3] 陈云浩, 冯通, 史培军, 王今飞. 基于面向对象和规则的遥感影像分类研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2006(4): 316-320.
- [4] Meyer, G. E., JO, N. O. C. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 63(2): 282-293. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.03.009>
- [5] 汪小钦, 王苗苗, 王绍强, 吴云东. 基于可见光波段无人机遥感的植被信息提取[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 152-157+159+158.
- [6] 江杰, 张泽宇, 曹强, 田永超, 朱艳, 曹卫星, 刘小军. 基于消费级无人机搭载数码相机监测小麦长势状况研究[J]. 南京农业大学学报, 2019, 42(4): 622-631.
- [7] 周涛, 胡振琪, 韩佳政, 张浩. 基于无人机可见光影像的绿色植被提取[J]. 中国环境科学, 2021, 41(5): 2380-2390.
- [8] 李鹏飞, 郭小平, 顾清敏, 张昕, 冯昶栋, 郭光. 基于可见光植被指数的乌海市矿山排土场坡面植被覆盖信息提取研究[J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(6): 102-112.