

# 无人机 RTK 技术在蓝藻水华监测中的应用

韩翠敏, 程花, 夏晴晴, 屈铭志, 刘润\* (江苏江达生态科技有限公司, 江苏无锡 214061)

**摘要** 蓝藻在风力等气候因素的影响下, 其状态更迭快速, 而传统蓝藻监测方法速度慢, 观测范围小, 无法满足对蓝藻快速准确监测的技术需求。无人机遥感技术具有高时效、高机动性、高分辨率等特点, 使其能够适用于快速变化的蓝藻水华监测。为验证无人机遥感技术在蓝藻快速识别和提取应用中的可靠性, 利用集成 RTK 模块的大疆精灵 4 无人机获取太湖贡湖湾区域高分辨率影像, 并通过一系列影像分析发现蓝藻提取正确率达到 94.68%, Kappa 系数为 0.89, 证实利用无人机影像进行蓝藻覆盖区域提取准确高效, 说明其在蓝藻水华监测应用中具有广阔前景。

**关键词** 蓝藻监测; 精灵 4 RTK 无人机; 监督分类

中图分类号 X 832 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)02-0225-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.02.065



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Application of UAV RTK Technology in Monitoring Cyanobacteria

HAN Cui-min, CHENG Hua, XIA Qing-qing et al (Jiangsu Jiangda Ecological Technology Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 214061)

**Abstract** Under the influences of wind and other climatic factors, cyanobacteria blooms have a rapid change in state. The traditional cyanobacteria monitoring method is slow and the observation range is small, which cannot meet the technical requirements for rapid and accurate monitoring of cyanobacteria. The UAV remote sensing technology has the unique features of high timeliness, high maneuverability and high resolution, making it suitable for rapid changes in cyanobacterial bloom monitoring. In order to verify the reliability of UAV remote sensing technology in cyanobacteria rapid identification and extraction applications, this paper used the Phantom 4 UAV with integrated RTK module to obtain high-resolution images of the Gonghu Bay area of Taihu Lake, and through a series of image analysis, it was found that the correct extraction rate of cyanobacteria reached 94.68%, and the Kappa coefficient was 0.89. The results showed that the extraction of cyanobacteria covered by UAV images was accurate and efficient, indicating that it had broad prospects in cyanobacterial bloom monitoring applications.

**Key words** Cyanobacteria monitoring; Phantom 4 RTK UAV; Supervised classification

蓝藻水华是全球环境学界关注的热点, 近年来, 随着我国水体的富营养化发展, 蓝藻水华防治已经成为企事业单位、科研院所研究的热点问题<sup>[1-2]</sup>。防治蓝藻水华, 一般需要专业人员进行蓝藻水华现象的识别、预测以及控制。传统水华识别与防治主要依赖于实地采样和对区域环境监测站内数据的统计与分析, 一般通过确定水中藻类细胞数目、叶绿素浓度、氨氮含量等来实现, 传统方法可以实现定量监测, 但费时、费力且采用离散样点观测, 无法确定蓝藻的整体分布情况。随着遥感科学技术的发展, 蓝藻水华问题的区域性监测成为可能, 众多学者开展的遥感技术对蓝藻水华问题的研究, 弥补了常规监测手段的不足<sup>[3]</sup>。蓝藻暴发时藻类生物高度聚集, 其光谱特征与典型植被光谱特征相似, 而与水体背景有较大差异, 因此借助卫星遥感技术可以进行蓝藻水华的记录与识别。目前, 影像的空间分辨率基本可以满足大范围水域蓝藻识别的需求, 但蓝藻受气象因素尤其是风速、风向的影响较大, 其在水中的状态更迭快速, 而卫星遥感平台存在作业不灵活、分辨率低等特点, 无法实现蓝藻的精细化监测, 此外卫星遥感回访的周期性特点, 加上云雾遮挡的影响, 往往使蓝藻水华影像无法及时获取<sup>[4-5]</sup>。

近年来, 无人机遥感技术受到广泛关注, 无人机遥感集成遥感技术和测绘平台形成了一套作业灵活、成本低、分辨率高的专业化低空遥感系统。相对于卫星遥感, 无人机遥感

的优势还体现在以下方面: 航线自主规划、作业简单, 易于操作、可搭载多类型高精度传感器, 影像分辨率可达厘米级<sup>[6-7]</sup>。目前, 无人机系统可内置小型机载 GPS 板卡, 采用基于载波相位差分技术 (real-time kinematic, RTK) 的无人机定位系统, 可以实时获取卫星导航信号, 通过差分解算、内插处理等精确获取无人机拍摄相片的定位信息, 为最终成图提供精度保证<sup>[8]</sup>。笔者利用小型无人机获取试验区可见光影像, 通过数字图像处理技术快速获取试验区蓝藻分布, 并与目视解译结果进行对比, 验证提取方法的有效性, 探索利用无人机遥感开展蓝藻水华监测的新方法。

## 1 材料与方法

**1.1 RTK 辅助航摄技术的原理** 高质量的航摄影像和高精度的影像定位是蓝藻无人机遥感监测的技术前提。传统无人机大比例尺测图技术由于受相机幅限制, 影像空三解算往往需要布设大量控制点来保证精度, 大大增加了外业工作量, 而采用机载 RTK 技术实时获取无人机曝光点坐标, 作为辅助数据参与光束法联合平差处理, 以此实现以空中控制来代替传统地面像控点布设, 从而减少外业工作量, 提高作业效率<sup>[9]</sup>, 其技术原理如下。

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{GPS}} - \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{GPS}} + \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} \times (t - t_0) \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = \lambda R^T \left( \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} \right) \quad (2)$$

式中,  $[X_s, Y_s, Z_s]$  为实际曝光时刻中心投影坐标;  $[x, y, -f]$

**基金项目** 江苏省政策引导类计划(国际科技合作)一重点国别及机构产业技术合作项目(BZ2017004)。

**作者简介** 韩翠敏(1987—), 女, 河北邯郸人, 工程师, 硕士, 从事水环境治理与修复研究。\*通信作者, 硕士, 从事生态监测相关研究。

**收稿日期** 2019-07-24; **修回日期** 2019-08-15

为像点在像空间坐标系中的坐标;  $[X, Y, Z]_{GPS}$  为曝光点坐标位置;  $[x, y, z]_{GPS}$  为 GPS 天线相位中心在像空间坐标系中的坐标;  $[a_x, a_y, a_z]$  和  $[b_x, b_y, b_z]$  分别为 GPS 线性偏移系统误差改正参数中固定部分和随时间变化部分;  $t$  表示该曝光点的曝光时刻,  $t_0$  为参考时刻。

**1.2 无人机作业要求** 大量工程实践表明,在进行大比例尺航测作业时,需要在测区架设地面基站,从而获得更加稳定、更高精度的航片定位坐标。基站一般要求架设在地势较高的地方,且远离电磁干扰<sup>[10]</sup>。一般以连续运行参考站(continuously operating reference stations, CORS)作为航测基站,无需自建基站,可随时连接终端<sup>[11-12]</sup>。对于利用无人机进行蓝藻水华监

测,在保证定位精度的基本条件下,监测目标的光学特性是航测作业关注的重点,作业时着重考虑相机参数设置,如快门速度、ISO 等,以确保能够清晰成像,保证航片质量。

**1.3 试验区概况与数据获取** 为测试无人机遥感技术能否满足蓝藻快速识别与提取的要求和精度,此次试验选取无锡市贡湖北岸区域(图 1),区域面积约为 1.1 km<sup>2</sup>,东西长 1.5 km,南北 0.7 km。此次无人机选用大疆创新公司生产的精灵 4 RTK 4 轴无人机(图 2)。飞行高度 110 m,地面分辨率 5 cm/pix,作业时长 30 min 左右。利用精灵 4 RTK 无人机可以实现少控制点成图,减少外业工作强度,该无人机连接千寻公司 CORS 基站,无需单独建站,可进一步减少外业工作量<sup>[13]</sup>。



图 1 试验区位置

Fig.1 Location of experimental area



图 2 精灵 4 RTK 无人机

Fig.2 Phantom 4 RTK UAV

**1.4 航片内业处理**

**1.4.1 影像预处理。**无人机影像通过 PhotoScan 软件进行拼接、校正处理。软件通过航片以及系统自带的 POS 数据,在光束法区域网平差的空中三角测量算法支持下自动实现控制点加密,并利用动态结构算法实现重叠区同名点匹配,进行影像

拼接处理,最后根据需要裁剪影像,形成正射影像图(图 3)。

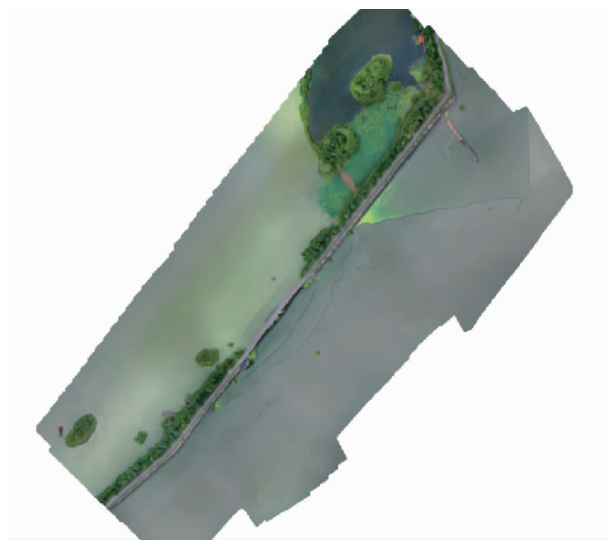


图 3 试验区正射影像

Fig.3 Orthographic image of experimental area

1.4.2 影像分析。从图 4 可以看出,受风浪的影响,蓝藻一般较多聚集于岸线,并沿岸线分布,此时蓝藻浓度较大,光谱特征与典型植被相似。由于影像中包含地物类别较少,因此使用经典的监督分类方法进行影像分类,拟分类类别确定为



蓝藻、水体和不透水面。均匀选取各类别训练样本训练分类器,最后采用具有小样本学习能力、抗噪性强、学习效率高的支持向量机模型进行蓝藻分类<sup>[14]</sup>。

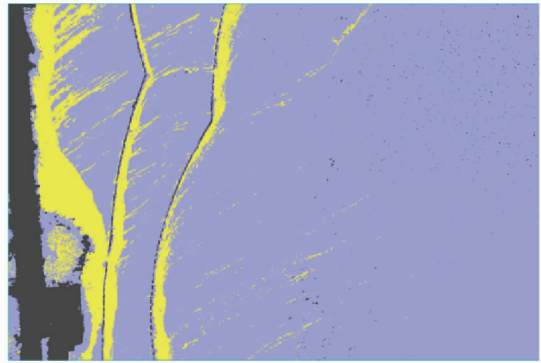


图 4 原始影像与蓝藻提取结果

Fig.4 Original image and cyanobacteria extraction result

## 2 结果与分析

蓝藻提取精度分析一般从 2 个方面进行:一是主观视觉评判图像分类效果,一般依据图像颜色、纹理、区域关系等特征进行评判。从图 4(右)可以看出,基于支持向量机的监督分类效果与参考图高度接近,但对于蓝藻浓度较低区域的识别欠佳。从提取精度的定量评价角度,以目视解译结果作为水面蓝藻分布真值,以混淆矩阵作为精度评价的核心方法<sup>[15]</sup>。混淆矩阵不仅可以评定分类精度,而且给出了各类别间的混淆程度,混淆矩阵包括总体精度、用户精度、制图精度和 Kappa 系数。Kappa 系数是分类结果一致性的指示器,综合考虑了矩阵所有因素,用于综合评价分类质量,其表达式如下:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (3)$$

式中, $r$  为分类类别数; $x_{ii}$  为影像中正确分类的数目; $x_{i+}$  和  $x_{+i}$  分别为第  $i$  行和第  $i$  列的总像元数目; $N$  为用于精度评定的总像元数。

试验结果表明,总面积 10 448.701 m<sup>2</sup>,其中蓝藻的分类精度最高,为 94.68%;不透水面的分类精度最低,为 89.55%;总正确率为 93.27%;Kappa 系数为 0.89。蓝藻提取精度评估结果表明,基于支持向量机的监督分类方法能够有效实现蓝藻提取,可以为蓝藻水华无人机监测提供快速识别方法。

## 3 结论与讨论

该研究基于无人机平台搭载的可见光相机,实现了试验区高分辨率无人机影像获取,并在实景三维建模软件 PhotoScan 支持下进行无人机影像的快速预处理。影像分析过程中,基于支持向量机的监督分类方法实现了蓝藻覆盖区域的快速提取,其提取正确率为 94.68%,说明该方法适用于无人机影像的蓝藻覆盖区域提取。

高机动性的 RTK 无人机遥感技术可以快速准确地识别蓝藻并进行定位,其数据现势度高,在小区域精细化环境监测领域具有独特的优越性,必将成为未来环境监测领域不可或缺的技术手段之一。该研究借助集成 RTK 系统的无人机平台进行蓝藻覆盖区域快速提取,结果表明该方法快速有效,其监测结果可为蓝藻收集作业提供数据支撑,未来还将继续开展气象因素扰动下的蓝藻运移规律和暴发预警,以此促进无人机蓝藻监测技术的进一步发展。

## 参考文献

- [1] 张民,阳振,史小丽.太湖蓝藻水华的扩张与驱动因素[J].湖泊科学,2019,31(2):336-344.
- [2] 李晟铭,刘吉平,宋开山,等.基于 Landsat 影像巢湖蓝藻水华暴发时空变化特征及其驱动因素分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(5):1205-1213.
- [3] 李天.基于 RTK 技术的无人机在大比例尺地形图测绘中的精度分析[J].测绘与空间地理信息,2019,42(3):166-168.
- [4] 沙林伟,刘阁,温志丹,等.基于 MODIS 数据的太湖蓝藻水华时空变化规律研究[J].湿地科学,2018,16(3):432-437.
- [5] 李亚春,王净,谢志清,等.多源遥感影像融合在太湖蓝藻监测中的应用[J].遥感技术与应用,2013,28(4):569-575.
- [6] 李鑫,孙伟,李林.基于小型无人机可见光遥感的蓝藻识别研究[J].测绘与空间地理信息,2017,40(4):153-156,159.
- [7] 张蔚,何正兴.基于低空无人机搭载可见光近红外传感器的太湖蓝藻监测[J].山东国土资源,2013,29(8):53-55,59.
- [8] 胡永进,曹仁勇.无人机航摄影 RTK 技术在园林规划中的应用[J].江苏农业科学,2018,46(12):172-175.
- [9] 马怀武,王俊强.RTK 结合无人机低空摄影在高原地区测绘中的应用[J].测绘地理信息,2014,39(3):47-50.
- [10] 贾宽宽,冉庆波,李宇晗,等.一种海洋遥感图像漏油区检测方法[J].中国科技信息,2018(8):69-71.
- [11] 林选妙.基于 CORS 系统与无人机遥感技术的大比例尺测图[J].科技创新与应用,2018(29):158-161.
- [12] 郝建明,楚彬,敖敏思,等.基于 CORS 的分米级 GNSS 差分定位云服务研究[J].测绘通报,2019(4):11-16,25.
- [13] 江木春,王柱,洪剑.千寻位置在江乌航道测量中的应用[J].水运工程,2019(7):179-183.
- [14] 张帅,谢福鼎,魏东岚.基于支持向量机的多时相遥感影像冬小麦种植面积提取[J].国土与自然资源研究,2018(2):76-77.
- [15] 李丹,梅晓丹,赵鹤,等.GF-1 与 Landsat-8 影像土地利用遥感解译对比分析[J].测绘工程,2018,27(10):42-45.