

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.03.019

无人机监测松材线虫病的精度比较

曾全¹,孙华富²,杨远亮¹,周建华¹,杨超³

(1.四川省林业科学研究院,四川成都 610081; 2.喜德县林业局,四川凉山 616750;
3.成都天麒科技有限公司,四川成都 610213)

摘要:利用无人机搭载可见光相机进行遥感拍摄,在430 m和700 m两个飞行高度下采集异常枯死松树遥感影像,将野外GPS采集的位置信息同ENVI遥感数据处理软件处理与解读数据信息进行比较。人工甄别和NDVI值提取枯死松树分别为6株与7株,数据有效率提取为85.71%;对无人机遥感获取的6株枯死松树地理位置信息进行实地验证,水平误差在0.86 m~4.20 m之间。表明无人机遥感基本实现了松材线虫病致死松树的精准定位,对于松材线虫病监测和后期除治具有重要意义。

关键词:松材线虫病;无人机;ENVI;监测

中图分类号:S763.1 文献标识码:A 文章编号:1003-5508(2019)03-0092-04

Precision Comparison for Pine Wood Nematode Disease Monitoring by UAV

ZENG Quan¹ SUN Hua-fu² YANG Yuan-liang¹ ZHOU Jian-hua¹ YANG Chao³

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, Sichuan, China;

2. Forestry Bureau of Xide County, Liangshan 616750, China;

3. Chengdu Tianqi Science and Technology Ltd., Chengdu 610213, China)

Abstract: Remote sensing images of unusual dead pines were acquired at the heights of 430m and 700m by UAV (unmanned aerial vehicle) equipped with the visible light camera. The geographic location information collected by GPS was compared with the data processing information of ENVI software and the data processing information of interpretation. Six dead pine trees were identified by artificial screening and seven dead pine trees were identified by the NDVI value. Data extraction efficiency was 85.7%. The horizontal error was between 0.86 m and 4.20 m for geographical location information of the six dead pine trees obtained by remote sensing. The results showed that unmanned aerial vehicle remote sensing had basically realized the accurate location of pine trees dying from the pine wood nematode disease, which was of great significance for the early monitoring and later treatment of the pine wood nematode disease.

Key words: Pine Wood Nematode Disease, UAV, ENVI, Monitoring

松材线虫病是由松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus* Nickle)引起的一种松林毁灭性灾害,主要通

过松墨天牛(*Monochamus alteratus* Hope)自然扩散,也可通过运输疫木造成人为远距离传播^[1]。该病

收稿日期:2019-02-13

基金项目:2018年基本科研业务项目“松材线虫病无人机监测预警精细化研究”(2018JBKY14);森林和湿地生态恢复与保育四川重点实验室资助项目

作者简介:曾全(1988-),男,四川隆昌人,工程师,硕士研究生,主要从事森林保护工作,e-mail:904029964@qq.com。

具有适生范围广、寄主种类多、发病速度快、松树死亡率高、防治困难等特点^[2]。四川省拥有马尾松松林约 333.33 万 hm^2 ,是构成生态区位极端重要的盆周山区和攀西地区森林生态系统的优势树种,为四川省十分宝贵的生态资源。2004 年四川省首次在广安市邻水县发现松材线虫病,现已扩散至 11 个市(州)、22 个区县。松材线虫病的传统监测方法是通过护林员日常巡查,现场可视范围内找到发病松树位置,再安排工作人员进行砍伐烧毁除治。由于林间地形和道路等情况复杂,在日常巡查中可能有局部区域无法到达而存在观测盲点,以致无法及时发现和处置发病松树,使得除治效率低下而效果不理想。无人机在低空航摄中存在灵活机动等优点,对地形的受限度小,降低了林业有害生物监测的工作难度,在监测预警中具有无可比拟的优越性^[3,4]。本研究在于通过无人机遥感技术实现松材线虫病致死松树的精准定位,进而指导林间除治工作,以克服传统森林病虫害监测预警中地理条件障碍、交通不便等问题。

1 实验材料和方法

1.1 研究区域

青山岭森林公园位于四川盆地南部,自贡市东南部,富顺县万寿镇境内。该公园介于东经 $105^{\circ}03'51'' \sim 105^{\circ}09'32''$,北纬 $29^{\circ}02'46'' \sim 29^{\circ}07'46''$ 之间,平均海拔 360 m,面积近 800 hm^2 。2013 年 6 月,自贡市富顺县境内首次发现松材线虫病分布,本研究将青山岭森林公园中部作为研究区域,其植被主要为马尾松,起源为人工林,另有樟树、杉木、慈竹和桉树等树种。

1.2 遥感材料

结合松材线虫病春季普查,于 4 月上旬对研究区域进行遥感影像采集,天气状况为小雨转阴,为川南地区该季节典型性气候,拍摄时间为中午 12:00—13:00。为保证数据的可靠性,每个飞行高度进行 33 次重复采集。实验中采用的无人机机型为丹麦原装测绘“积云一号”(见图 1),该机型数据参数见表 1。

研究中选用的相机为 SONY RX100,该相机有效像素为 2020 万 (5472×3648),具有光学防抖,支持连拍功能(最高约 $10 \text{张} \cdot \text{s}^{-1}$)。结合飞机载荷性能,一次作业面积可达 2 666.67 hm^2 以上。地面选择 RTK(Real-time kinematic,实时动态)进行辅助定

位。

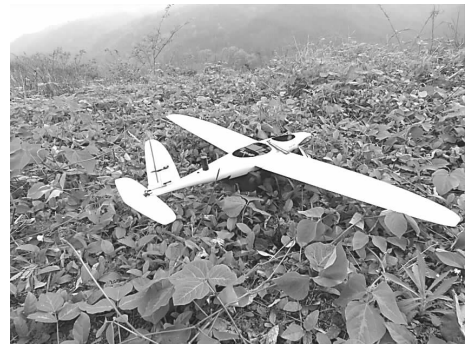


图 1 “积云一号”无人机
Fig. 1 UAV —“Jiyun Yi Hao”

表 1 “积云一号”无人机参数
Tab. 1 Parameter of UAV —“Jiyun Yi Hao”

序号	性能	技术指标
1	起飞方式	手抛起飞,无需借助任何外部设备
2	降落方式	主减速降落
3	动力系统	聚合物锂电池
4	飞机翼展	165 cm
5	机翼面积	28 dm^2
6	起飞重量	2.2 kg
7	机身材质	凯夫拉纤维与碳纤维复合材料
8	飞行时间	高达 2.5 h(标配相机)
9	抗风能力	抗风可高达 $12 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
10	巡航速度	约 $60 \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$
11	通讯链路	最远可达 10 km,可扩展 50 km
12	是否支持可拆卸	机翼及尾翼均可拆卸,便于更换和运输

1.3 研究方法

本研究选用的遥感图像处理软件为 ENVI 5.3,作为一款专业可靠的波谱分析工具,该软件可实现遥感影像的输入/输出、定标、正射影像、镶嵌、与 GIS 的整合等功能^[5]。

1.3.1 遥感图像获取

无人机采用定高巡航飞行模式,相机镜头始终保持垂直向下,结合川南地区 4 月份阴雨绵绵的天气状况和无人机飞行性能(飞行高度过高会穿云,影响影像的清晰;高度低则不能发挥固定翼无人机的性能)、拍摄效果和作业效率等考虑,设计了 430 m 与 700 m 两个飞行高度,以比较不同飞行高度下遥感影像的清晰度和位置的精准性;每个飞行高度进行两次重复采集,以确保试验数据的科学性和可靠性。同时 4 月份也是松材线虫病春季普查末期,该季节进行遥感飞行也可以检查前期间枯死松树除治效果。通过飞控软件(Sky-Watch Mission Planner-Cumulus 3.8)设置飞行线路(见图 2),采用同样的航向重叠和旁向重叠度(分别为 75% 和 70%),按照规划线路进行遥感影像采集。两个高度下的飞

行面积分别为 1.45 km² 和 1.46 km², 飞行时间共计 58 min。拍摄的影像均含红、蓝、绿 3 个波段。

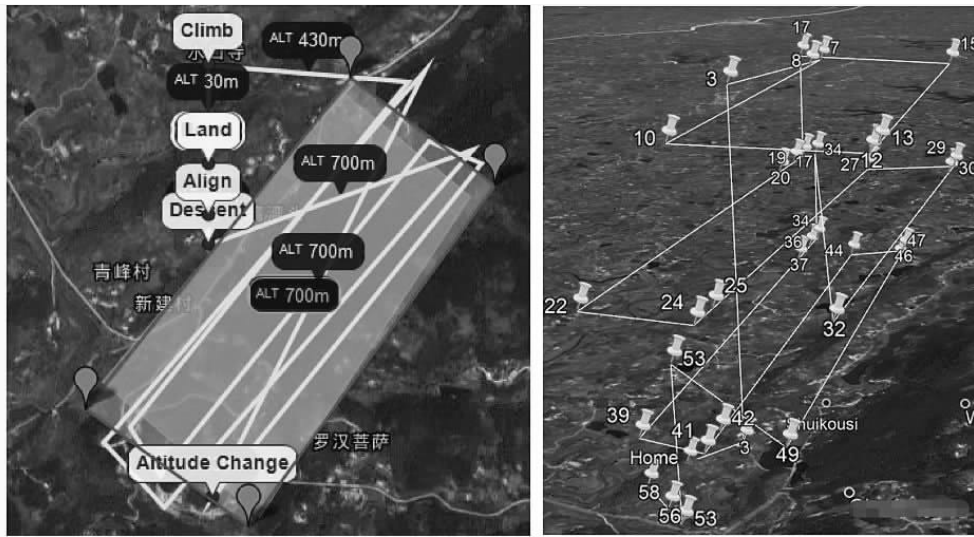


图 2 飞控线路图

Fig.2 Schematic of flight control line

1.3.2 图像几何校正

无人机超低空航摄时,由于地形起伏、飞行姿态变化和传感器等因素的影响,使得遥感影像会产生几何畸变。研究中的可见光图片皆为镜头垂直向下拍摄,试验地点较为平缓,相机是普通的广角光学相机,没有经过严格标定,因此影像畸变主要为相机镜头导致的桶形畸变。遥感图像的几何校正方法主要有基于控制点和基于影像特征的校正,前者主要是利用 GPS 信息进行。

无人机采集的遥感影像为没有坐标系的栅格文件,本研究采用 image to image 几何校正,即通过选择同名点(或控制点)来配准采集到的遥感影像,使

相同地物出现在校正后的图像相同位置。也可以通过 Arcgis 对遥感影像进行几何校正和图像配准。采用西安 80 坐标系进行影像配准。

1.3.3 图像镶嵌

ENVI 图像镶嵌功能提供交互式的方式将没有地理坐标或者有地理坐标的多幅图像合并,并生成一副单一的合成图像。在图像没有地理坐标的情况下,需进行基于像素的影像的镶嵌;有地理坐标的情况下,进行基于地理坐标的影像镶嵌。

现有的植被指数主要是基于可见光波段与近红外波段,如归一化植被指数 (NDVI)。本研究首先通过GPS在现地获取异常枯死松树地理位置,然后将

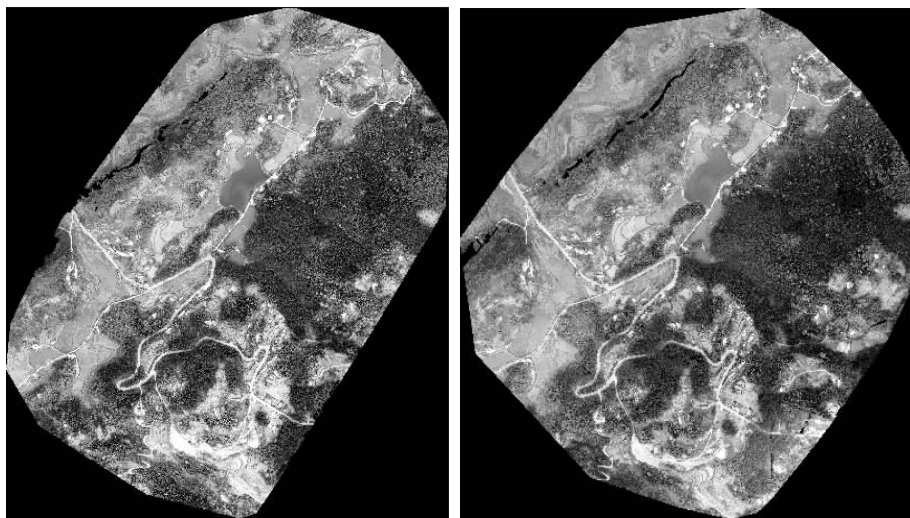


图 3 遥感镶嵌影像(左为 430 m,右为 700 m)

Fig.3 Remote sensing mosaic image (left for 430 m, right for 700 m)

GPS 坐标系和镶嵌遥感影像坐标系进行统一,再从镶嵌影像中找到现地获取位置枯死松树的 NDVI 指数,再将此指数扩展至整副镶嵌遥感影像,以提取其他异常枯死松树的地理位置信息。

2 结果与分析

在 430 m 飞行高度下共采集影像 147 张,700 m 飞行高度下采集影像 39 张。通过几何校正、图像配准和图像镶嵌,获取研究区域的正射影像(DOM 影像),在室内对 RGB(波段 1/2/3)影像进行人工近景甄别,并基于枯死松树的 NDVI 指数,提取枯死松

树地理位置信息(见图 4)。

2.1 遥感数据准确性

对两个不同飞行高度下采集和处理的遥感影像进行分析,人工近景甄别均提取异常枯死松树 6 株,利用 NDVI 值均提取异常枯死松树 7 株。对比发现两个飞行高度下枯死松树位置重叠度高,表明 430 m 和 700 m 飞行高度均能实现枯死松树的准确识别,地理位置差异性不明显。NDVI 值均提取枯死松树位置信息有效率为 85.71%,NDVI 值反映的枯死松树位置包涵全部人工提取位置信息,结合现地调查发现非异常枯死树为杉木,由于季节和树木长势的原因,表现出与枯死松树相近的光谱信息。

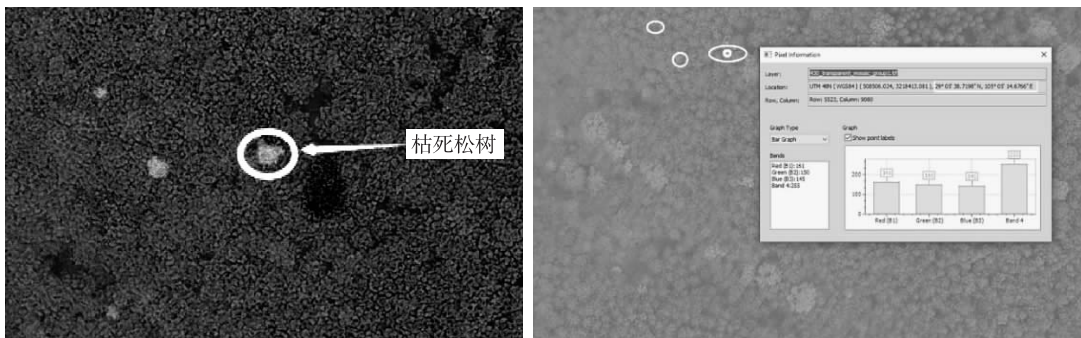


图 4 异常枯死松树点位及地理信息提取

Fig. 4 Abnormal dead pine tree location and geographical position extract

2.2 遥感影像数据精度验证

将无人机遥感影像处理提取的地理位置信息与 GPS 现地采集的地理位置信息进行精度验证,水平距离误差在 0.86 m ~ 4.20 m 之间(见表 2)。针对

林间枯死松树监测而言,表明无人机遥感提取的坐标位置数据比较准确、精准度较高,在野外进行林间受害树监测和搜寻时具有较高的可操作性,可用于检查林间松材线虫病枯死松树的除治效率。

表 2 遥感影像位置信息与实测位置信息比对

Tab. 2 Remote sensing location information and actual measurement location information comparison

序号	UAV 位置信息		GPS 实测位置		水平误差 (m)
	经度	纬度	经度	纬度	
1	105°05'17.243"	29°04'14.276"	105°05'17.223"	29°04'14.198"	3.40
2	105°06'12.732"	29°04'27.324"	105°06'12.718"	29°04'27.316"	0.86
3	105°06'23.436"	29°05'36.433"	105°06'23.387"	29°05'36.394"	3.04
4	105°04'10.143"	29°06'17.314"	105°04'10.096"	29°06'17.307"	2.11
5	105°05'14.676"	29°05'38.719"	105°05'14.657"	29°05'38.695"	1.08
6	105°06'21.326"	29°05'23.176"	105°06'21.298"	29°05'23.097"	4.20

3 结论与讨论

本研究选用固定翼无人机在 430 m 和 700 m 飞行高度下对枯死松树进行了遥感影像采集,并通过 ENVI 处理软件进行数据处理,两个高度均能实现对异常枯死松树的准确识别,但相同的野外实验条件下,700 m 飞行高度下作业时间仅 9 min,430 m 飞行

高度下作业时间 14 min,表明 700 m 飞行高的作业效率相对更高。利用 NDVI 值提取枯死松树位置信息有效率为 85.7%,排除树木长势和季节等因素的影响,有必要结合人工甄别进行辅助判读。对本研究结果进行分析,今后可开展不同飞行高度下工作效率进行研究;在枯死松树症状明显期采用可见光遥感可以实现对枯死松树的监测,后续工作中还可 (下转第 114 页)

$$\begin{aligned} u_{\text{rel}}(W) &= \sqrt{\text{urel}(r)^2 + \text{urel}(w1)^2} \\ &= \sqrt{(6.82 \times 10^{-4})^2 + (4.85 \times 10^{-5})^2} \\ &= 6.84 \times 10^{-5}。 \end{aligned}$$

3.4 分析仪器的相对不确定度 $u_{\text{rel}}(J)$

721 分光光度计的校准证书上提供了透射比示值误差测量结果不确定度可见光段 $U_{\text{rel}} = 0.6\%$, $k = 2$, 则 $u_{\text{rel}}(J) = 0.6\% / 2 = 0.3\% = 3.0 \times 10^{-3}$ 。

4 合成相对不确定度

根据表 7, 合成相对不确定度。

$$\begin{aligned} u_{\text{rel}} &= \sqrt{\text{urel}(C1)^2 + \text{urel}(C2)^2 + \text{urel}(Q)^2 + \text{urel}(V)^2 + \text{urel}(M)^2 + \text{urel}(X)^2 + \text{urel}(J)^2 + \text{urel}(W)^2} \\ &= 1.6 \times 10^{-2}。 \end{aligned}$$

5 相对扩展不确定度评估

取置信概率 $p = 95\%$, 且取扩展因子 $k = 2$, 则相对扩展不确定度为 $U_{\text{rel}} = 1.6 \times 10^{-2} \times 2 = 3.2 \times 10^{-2}$ 。

6 结论

本文对 GB/T 8314 - 2013 茶 游离氨基酸总量的测定过程做了详细的测量不确定度评估, 发现标准曲线拟合是关键步骤, 其相对不确定度分量达到 1.17×10^{-2} , 将会对茶叶游离氨基酸总量的测定产

(上接第 95 页)

结合多光谱或高光谱遥感加强对该病的早期预警研究, 探究早期感病松树的光谱反射通道, 并建立感病松树不同时间段及光谱信息的监测预警模型。

在遥感数据运用延伸方面, 徐冬青^[6]等人研究了 ENVI 与 GIS 数据之间的转化, 本研究获取的遥感影像也可以导入 GIS, 进行相应的后续处理。此外, 通过对获取的 DOM 数据进行压缩处理并标记出枯死松树后, 可以将该数据导入安卓、IOS 等系统的手机并分发至护林员手中, 护林员可根据该数据导航至疑似枯死树处, 进行现场确认, 并安排人员进行砍伐处理。该方法很好地弥补了传统作业手法的不足和缺陷, 适应了当前森林病虫害防治的新要求, 同时也便于林业工作者的操作和应用。基于此原理, 也可以实现对其他爆发性森林病虫害的监测。研究中选用的无人机在饱满续航能力下可以飞行

表 7 不确定度总览表

Tab.7 The uncertainty of the list

序号	不确定度分量	符号	数值
1	标准储备液	$u_{\text{rel}}(C_1)$	1.16×10^{-3}
2	标准工作溶液	$u_{\text{rel}}(C_2)$	7.48×10^{-3}
3	标准曲线拟合	$u_{\text{rel}}(Q)$	1.17×10^{-2}
4	样品定容体积	$u_{\text{rel}}(V)$	7.46×10^{-3}
5	样品称样质量	$u_{\text{rel}}(M)$	1.92×10^{-5}
6	样品重复测定	$u_{\text{rel}}(X)$	2.70×10^{-4}
7	样品干物质含量	$u_{\text{rel}}(W)$	6.84×10^{-5}
8	分析仪器	$u_{\text{rel}}(J)$	3.0×10^{-3}

合成相对不确定度的计算如下:

生显著影响, 故在测定时应对其重点控制, 这对提高检测结果的准确性有重要的参考意义。

本次实验所测的游离氨基酸总量为 6.6492%, 修约后为 6.6%, $U_{\text{rel}} = 3.2 \times 10^{-2}$, $k = 2$, $p = 95\%$ 。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家计量技术规范, JJF 1059.1 - 2012, 测量不确定度评定与表示.
- [2] 中国金属学会推荐技术和方法, CSM 01 01 01 02 - 2006, 分光光度法测量结果不确定度评定规范.
- [3] 中华人民共和国国家标准, GB/T 8314 - 2013, 茶 游离氨基酸总量的测定.
- [4] 中华人民共和国国家标准, GB 5009.3 - 2016, 食品安全国家标准 食品中水分的测定.

2.5 h, 单次作业面积可以达到 2 666.67 hm^2 以上, 相比人工巡视明显缩短了监测时间, 提高了监测和防治效率。

参考文献:

- [1] 谢伟忠, 黄焕华, 黄茂俊等. 广东省林业有害生物的发生与防控[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (6): 1191 ~ 1197.
- [2] 林孝春. 松材线虫病的危害及防控措施综述[J]. 华东森林经理, 2015, 29(03): 28 ~ 30.
- [3] 张红梅, 陆亚刚. 无人机遥感技术国内松材线虫病监测研究综述[J]. 华东森林经理, 2017, 31(03): 29 ~ 32.
- [4] 李卫正, 申世广, 何鹏等. 低成本小型无人机遥感定位病死木方法[J]. 林业科技开发, 2014, 06(25): 102 ~ 106.
- [5] 邓书斌. ENVI 遥感影像处理方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [6] 徐冬青, 唐新军, 贺铮. 遥感图像处理软件 ENVI 与 GIS 软件的信息转换[J]. 水资源与水工程学报, 2005, 16(1): 67 ~ 70.