

无人机遥感技术在松材线虫病害监测中的应用

投稿人：孔奥 朱霖 舒昊 王倩

投稿单位：《宝略科技（浙江）有限公司》

摘要：

松材线虫病害是一种破坏性和传染性极强的世界性松树病害，一旦发生病害，如不及时的监测和治理，将对我国的林业生态安全造成巨大的威胁。为此，本文利用无人机飞行平台搭载多光谱相机针对染病松树光谱与空间特征，利用红外光谱影像结合深度学习算法，开展了染病、病死松树树木的高效、高精度监测。结果表明，本文方法识别精度高，具有识别速度快、精度高、流程自动化等优点，为松材线虫病害监测提供了可靠的技术支撑。

关键词：

无人机遥感；松材线虫病害监测；多光谱遥感；深度学习

1 引言

松材线虫病，亦被称为松树萎蔫病，是国际上最具危险性的林业有害生物^[2]，能导致松树在感染后60-90天内枯死，其传播蔓延迅速，3-5年就可造成大面积毁林的恶性灾害。我国是世界上人工林面积最大的国家，同时也是林业生物灾害损失最严重的国家。截至目前，该病害在我18个省588个县级行政区发生面积约974万亩，并呈现向西、向北快速扩散态势。

松材线虫病害监测^[1]是其防控的关键手段，传统的松材线虫病监测主要采用人工判别病株的外部症状^[6]，该方法不仅费时费力，且监测结果容易出现遗漏。随着遥感技术的快速发展，利用各类航空航天遥感技术进行病虫害监测已成为主要技术手段之一，卫星影像可以通过增强型植被指数（Enhanced Vegetation Index, EVI）与叶面积指数（Leaf Area Index, LAI）的相互关系，能够准确地反映松林的生长与健康情况。测定松材线虫自然侵染后黑松和马尾松不同受害阶段的光谱曲线，分析其光谱参数、光谱特征以及叶绿素的相应变化，发现随着病害程度加深，叶绿素含量降低，且光谱特征参数与叶绿素含量之间具有显著的相关性。卫星遥感在病虫害监测上取得了许多成果，发展较快，但受到成像条件、大气环境、地形地貌等复杂条件的影响，仍存在许多亟待解决的问题，因而难以快速、有效的发现单株染病松树。如果不能及时发现染病松树并销毁，则松材线虫病感

染范围将会迅速扩散。因此，如何高效、准确的进行松材线虫病害监测，已经成为当前国家林业资源迫切需要解决的重点问题之一。近年来，随着无人机技术不断发展，凭借着高效便捷、操作简单、作业成本低等优势^[4]，已成为对地观测的重要手段之一。目前，支持向量机等机器学习算法能实现对无人机影像松材线虫病害的自动识别，并通过GIS系统自动获取病源坐标。同时，可将无人机遥感影像中提取的枯死松树地理位置信息与GPS实地采集的地理位置信息进行对比验证，准确性高，有较高的可操作性。

本文阐述利用无人机多光谱相机结合卫星、地面核查方法，构建松材线虫病疫情遥感监测流程，为松材线虫病疫情监测提供一套科学高效、切实可行的解决方案，同时也为森林资源管理和生态文明建设提供重要的数据基础和科技支撑。

2 研究区域和数据

2.1 松材线虫病监测区域

2020年柯桥松材线虫病监测项目总体范围包括两个测区，面积总计约5.12km²，具体检测范围见图1。其中测区1的面积约为2.742km²，测区1中松树为优势木的面积约为1.40km²，而测区2的面积约为2.376km²，其中松树为优势木的面积约为1.45km²。

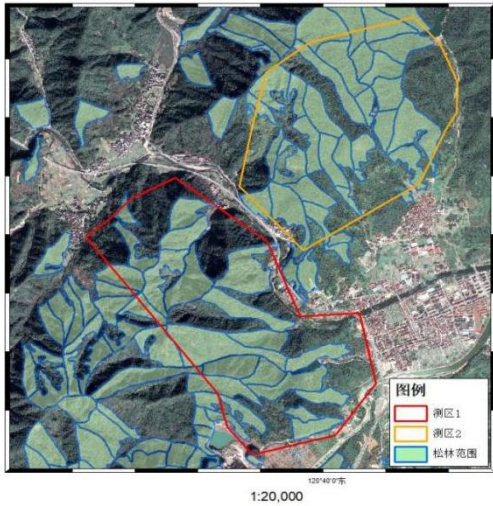


图1 松材线虫病害监测范围示意图

2.2 设备选型

2020 柯桥松材线虫病害监测项目选用的无人机平台为深圳飞马机器人科技有限公司研发的一款主力型四旋翼无人机 D200。D200 无人机是飞马着力推出的一款基于高性能旋翼平台的一体化高精度航测无人机系统，主打“高精度成图”。D200 起飞重量 7.5kg，标准载重 1kg，单架次海平面悬停时间 48min，秉承飞马产品安全可靠的设计理念，飞行器上传感器采取了多路冗余设计，保障飞行作业安全可靠。

选择飞马无人机作为传感器搭载平台开展柯桥松林线虫病监测的原因是，该款无人机兼具长飞行时间、大覆盖区域、操控简易、设计友好的特点，特别是可灵活的搭载不同类型的传感器，并提供了可靠的兼容性接口。所使用的飞马 D200 无人机和现场飞行照片如图 2 所示。



图2 飞马无人机病虫害监测现场飞行照片

RedEdge-3 五波段成像仪其性能和指标是为植物监测而设计的，包括了蓝、绿、红、红边和近红外等 5 个窄带光谱波段，其中其红边和近红外的波段半宽度都在 10nm 左右，其它 3 个光谱波段的半宽度也

在 20nm 以内，其光谱波段分布见图 3 所示。

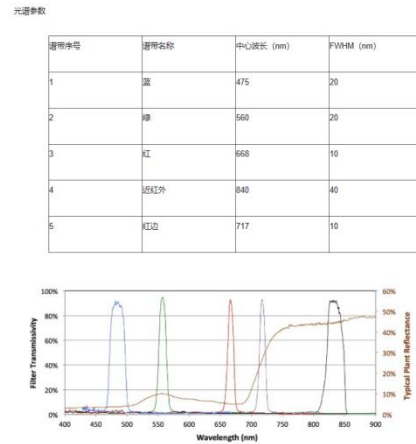


图3 RedEdge-3 五波段成像仪的光谱响应函数

2.3 无人机遥感数据处理

2.3.1 DOM 和单光谱地图制作

本次监测项目中的 DOM 和多光谱影像地图分别使用 GodWork 天工制图软件和 Pix4Dmapper 制图软件进行制作。经测试，GodWork 生成的传统正射地图影像分辨率与清晰度优于 Pix4D 生成的真正射地图，故本次监测项目中传统正射影像被用于进行之后的人工标定与机器判别。

经软件自动化数据处理得到可见光 DOM 正射影像图如下图 4 所示：



图4 测区 1 DOM 成果得到多光谱正射影像图如下图 5 所示：

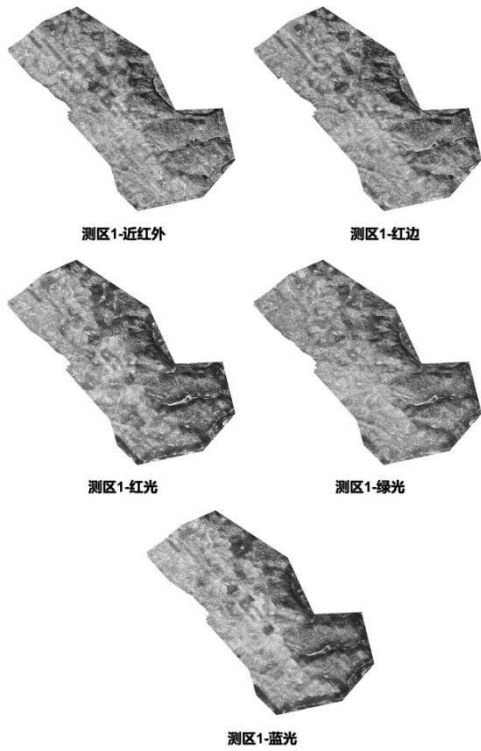


图5 测区1多光谱地图成果

2.3.2 多光谱地图制作(ENVI)

多光谱地图成果以标准真彩色影像展示(R-红光, G-绿光, B-蓝光), 见下图6。



图6 测区多光谱真彩色地图成果

2.3.3 NDVI 植被指数地图制作

利用 ArcGIS 的栅格计算功能, 使用公式 1 分别计算生成测区 1 和测区 2 的归一化植被指数(NDVI)。

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (\text{公式 1})$$

NDVI 作为反映农作物长势和营养信息的重要参数之一, 能够反映出能反映出植物冠层的背景影响, 如土壤、潮湿地面、雪、枯叶、粗糙度等。通常来说健康绿色植株会将红光大量吸收且反射近红外光, 使其 NDVI 值趋向于 1, 而不健康的病株则刚好相反。

NDVI 地图成果见下图。

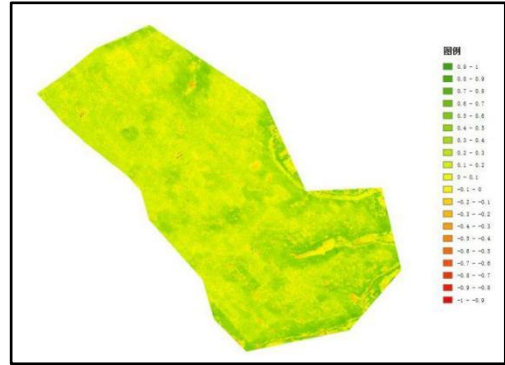


图7 测区 1 NDVI 地图成果

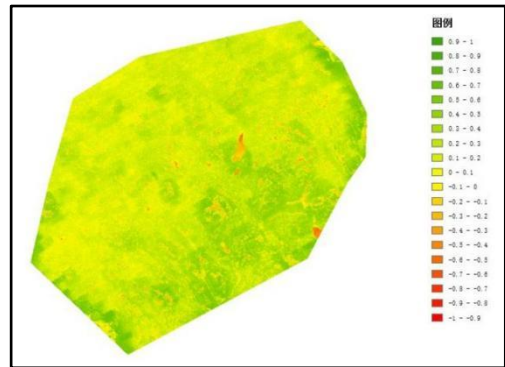


图8 测区 2 NDVI 地图成果

通常来说, 当 NDVI 值等于 0 时, 代表了红光反射与近红外光反射强度相同的区域, 而大于该值或小于该值即代表了不同的地面覆盖属性(包括植被健康程度)。在本次监测项目中, 为保证病木区域图斑的完整性与独立性, 经过多次测试, 0.0117 被视为本次监测项目的 NDVI 阈值, 即 NDVI 大于该值时, 范围内为绿色健康植被。然而, 如图 9 所示, 红框内为裸露地面, 蓝框内为病株, 实际操作中裸露地面与病株的 NDVI 值极其接近, 单纯利用 NDVI 值将其分离难度极大。在本次监测项目中, 测区已有的 2019 年 1:2000 的 DEM 数据和通过多光谱数据采集生成正射影像同时生成的测区 DSM 被用于计算地物高度, 如公式 2 所示。

$$h = DSM - DEM \quad (\text{公式 2})$$

当 $h \leq 0$ 时, 代表高度值为 0, 表示此处无植被, 即视为该处为地面, 可在之后分析中被忽视。h 也被用于之后的病木单株树高提取。

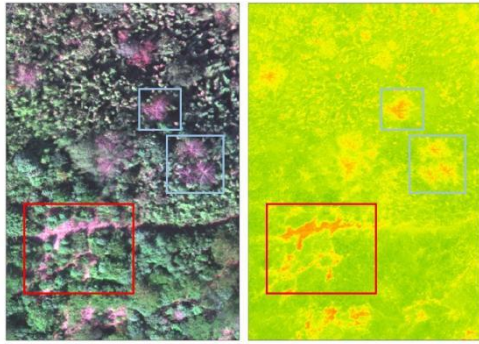


图9 NDVI中裸露地面与病株值

3 研究方法

3.1 基于可见光正射影像和 NDVI 的机器解译

3.1.1 训练样本制作

在测区范围内选择典型区域，采用 Tensorflow 深度学习开源框架，训练阶段采用 Adam 优化器对权重进行优化训练样本，通过手绘方式提取目标。

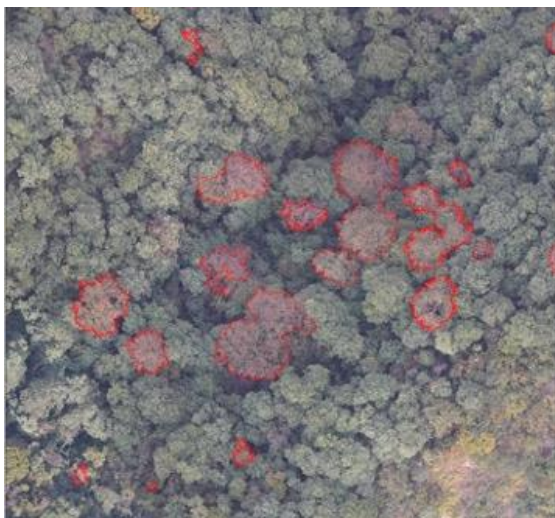


图10 训练样本示意图

3.1.2 图斑获取

在排除裸露地面的干扰后，NDVI 地图可用于基于属性值计算 ($NDVI < 0.0117$) 的机器判读来监测受到虫害的松树下图是基于 DOM 和 NDVI 的机器判别的监测图斑样片。



图11 监测图斑示意图

3.1.3 基于正射影像的人工干预检核

在本次监测项目中，测区内松树若是受到松材线虫病害，会逐渐干枯且松针颜色呈铁锈红色，基于该原理，可直接对可见光正射影像（即 DOM）进行人工目视标定，判断通过深度学习、机器解译获取的图斑是否正确，并做出相应删改。

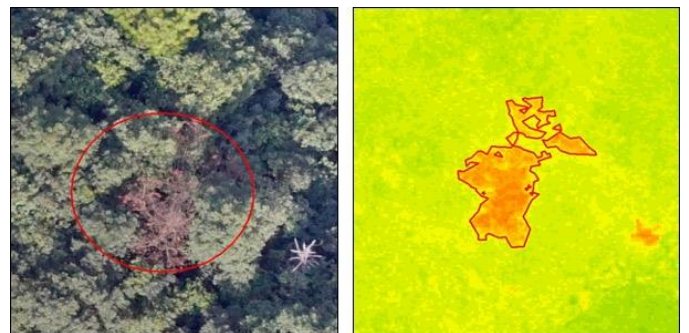


图12 对解译图斑的人工判读 (120.66° E, 29.79° N)

结合人工标定与机器判读的结果，获得测区内病害区域。由于数据预处理时已排除裸露地面的干扰和保证了图斑的独立性，每一个图斑即可代表一株病木，选取其中心点，提取该点的 h 值，即为该图斑所代表病木的树高。

3.2 松材线虫病害监测成果与分析

如下表所示，本次项目两个测区共监测图斑

2028 个，病木图斑总面积为 20323.50m²，占测区总面积的 0.397%。项目测区内病木平均图斑面积为 10.02m²。

表 1 2020 柯桥松材线虫病害监测项目成果

	测区1	测区2	总测区
病木数量	1053	975	2028
病木平均单株树高 (m)	10.01	9.63	9.83
病木平均图斑面积 (m ²)	12.84	6.96	10.02
病木图斑面积 (m ²)	13522.39	6801.10	20323.50
病木图斑面积/测区面积	0.493%	0.286%	0.397%

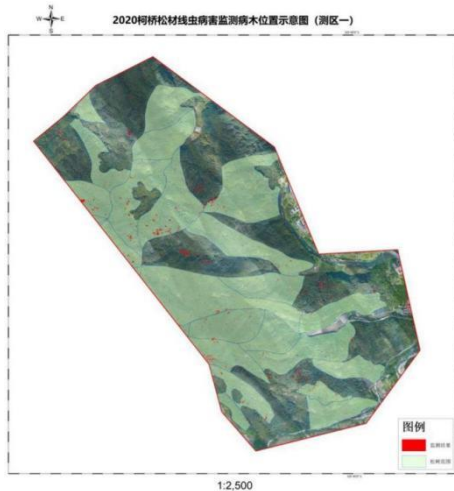


图 13 2020 柯桥松材线虫病害监测项目测区 1 内病木位置示意图

图 13 展示了本次监测项目测区 1 内松材线虫病害监测成果，红色斑块即代表了病木所在位置和图斑面积。测区 1 中共测得病木 1053 株，病木总图斑面积 13522.39m²，据分析得，病木平均单株树高为 10.01m，病木平均图斑面积 12.84m²，测区 1 内病木图斑面积占该测区总面积的 0.493%。

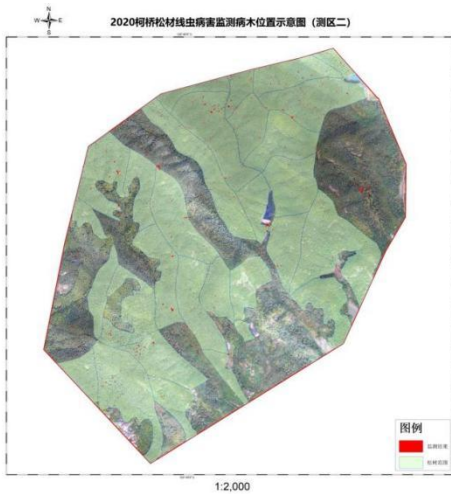


图 14 2020 柯桥松材线虫病害监测项目测区 2 内病木位置示意图

图 14 展示了本次监测项目测区 2 内松材线虫病害监测成果，与图 13 相似，图中红色斑块即代表了病木所在位置和图斑面积。本次监测项目中测区 2 中共测得病木 975 株，病木总图斑面积 6801.10m²，据分析得，病木平均单株树高为 9.63m，病木平均图斑面积 6.96m²，测区 2 内病木图斑面积占该测区总面积的 0.286%。根据识别结果，生成坐标信息，并进行实地核查，实地核查共抽取 342 处预测点进行核查，抽查率为 35%，其中有 315 处为染病松树或已砍倒的染病松树，正确率为 92.1%，如表 2 所示：

表 2 监测精度

总疑似点	抽查点数	抽查率	正确识别别数目	错误识别别数目	正确率	误检率
975	342	35%	315	27	92.1%	7.9%

实地核查后发现，本文方法通过利用细节特征，能很好地区分出每一株染病松树，并由于染病松树砍伐后未及时销毁，在影像上呈现出与染病松树相似的光谱信息，因此本文方法对已砍倒松树具有同样的识别效果(图 15)。这充分说明本文方法具有良好的松材线虫识别性能，可以为松材线虫监测及地面人员清理工作检查提供可靠的依据。



图 15 实地核查图

4 结论与讨论

近年来飞速发展的无人机遥感技术为国家林业资源提供了一个可行、高效、准确的病虫害监测与防治手段，开展森林健康状况监测^[8]，对林区进行动态、量化、空间化的监测，并进行统计与变化的分析，其成果对实现病虫害的早期及时防治具有重要意义。本文利用无人机影像具有时效性强、空间分辨率高的特点对松材线虫病害监测方法进行研究。利用红

外光谱影像结合深度学习算法,进一步推进松材线虫病害监测效果。

多光谱技术结合了空间成像系统和光谱探测系统的功能,可以同时从光谱维和空间维获取被测目标的信息,因此近年来在信息获取与处理领域备受重视^[6-8],在农业工程的应用中,多光谱技术主要体现在作物病害诊断^[9]、作物生长状态监测等^[10]。

研究表明将无人机遥感技术与深度学习结合进行松材线虫监测的方法具有重要的应用价值与实际意义。本方法对松材线虫病的早期预警,以及病死枯树的识别的良好效果很好的改善了传统作业方法的不足,且具有高效、便捷、精确等优点。但由于其它枯死植物的光谱特性与枯死松树相近,容易造成误分,在今后的的研究中将考虑植物类别等因素,构建多类别样本库用以提高模型精度,提升对松材线虫监测的识别率。

参考文献:

- [1] 李浩,徐航煌,郑恒宇,等.基于无人机遥感图像的松材线虫病监测技术研究[J].中国农机化学报,2020(9).
- [2] 武红敢,牟晓伟,杨清钰,等.无人机遥感技术在重庆市沙坪坝区松材线虫病监测中的应用[J].林业资源管理,2019,0(2):109-115.
- [3] 宁眺,方宁凌,汤坚,等.松材线虫及其传媒松墨天牛的监测和防治现状[J].昆虫知识,2005,42(3):264-269.
- [4] 史洁青,冯仲科,刘金成.基于无人机遥感影像的高精度森林资源调查系统设计与试验[J].农业工程学报,2017,33(11):82-90.
- [5] 冯洁,廖宁放,罗永道,等.多光谱颜色重建在植物病虫害检测中的应用[J].影像技术,2007(000)006:6-9.
- [6] Levenson R M, Hoyt Clifford C. American Laboratory, 2000, 32(22): 26.
- [7] Yu Zhumar A International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 1999, 2: 794.
- [8] Yamaguehi Masahiro, Teraji Taishi. SPIE, 2002, 4663: 15.
- [9] FENG Lei, FANG Hui, ZHOU Wei-jun, et al(冯雷,方慧,周伟军,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(9): 1749.

- [10] LIYing-xue, ZHUYan, DAITing-bo, et al(李映雪,朱艳,戴廷波,等). Chimes JournalofAppliedEcology(应用生态学报), 2006. 17(8): 1443.

作者简介:

孔奥(1992),男,湖北洪湖人,技术员,主要从事遥感数据的采集、与技术支持工作;

email: kongao@popsmart.cn,

电话: 17606867922

单位: 宝略科技(浙江)有限公司

单位地址: 浙江省宁波市学士路 655 号科技孵化园 E 栋 901 室 315100