

传感器技术如何赋能林草产业？

九三学社中央科技委副主任、中国传感器与物联网产业联盟常务副理事长 郭源生

全球林草产业正从单一生态保护向“生态+安全+产业”融合发展转型,智能传感器作为“空-天-地”一体化监测网络的核心组件,已成为支撑林草全域精细化管理的关键技术。当前,我国正在全面推进深化智慧林草产业战略规划目标,明确将“生态监测、安全防范、产业增效”三大任务的智能化建设作为“十五五”高质量发展的创新目标,结合智能感知、人工智能等高新技术,实现监测范围全域化、数据反馈精准化、应急响应快速化、处置方案科学化等适应未来林草全域数字化、智能化等更高要求。

传统人工巡查或单一传感器监测模式,存在覆盖范围有限、响应滞后、数据碎片化等问题,难以适配林草生态系统的复杂性,如树种多样性带来的监测参数差异、野生动物活动的随机性;安全防范的紧迫性,如森林防火的实时预警需求、病虫害的快速扩散防控;以及产业发展的实用性,如林下经济作物的精准管理、草原载畜量的动态调控等综合需求。在此背景下,系统梳理从生态保护、安全防范到林下经济全场景的传感器应用解决方案,明确各场景下的核心参数、技术依据与应用模式,对于推动林草产业智能化升级、筑牢生态安全屏障、赋能乡村振兴战略具有重要的实践意义。



林草监测核心参数体系

构建科学完善的林草监测参数体系,是实现精准监测的前提基础。基于林草产业“安全优先、生态为本、产业赋能”的发展逻辑,监测参数体系可分为全林型通用参数和不同林草类型特殊参数两大类,既保障全域覆盖的全面性,又兼顾细分场景的针对性。

全林型通用监测参数聚焦林草生态系统的共性需求,按“安全防范-生态保护-环境支撑”的优先级排序,确保核心

诉求优先落地。其中,安全防范核心参数直接关联林草资源的生存底线,是监测体系的重中之重;生态保护基础参数支撑生态系统健康评估;环境支撑参数为前两类参数提供场景背景,三者形成有机整体。从具体来看,在安全防范核心参数方面,森林防火与病虫害预警是两大核心方向;生态保护基础参数则聚焦植被活力与生物多样性两大核心维度;环境支撑参数是为林草生态系统提

供基础环境背景数据,主要包括降雨量与土壤温湿度。

不同林草类型特殊监测参数须针对性设置特殊监测参数,确保监测方案的适配性。结合我国林草资源分布特点,重点覆盖人工林、天然林、草原、自然保护区及林下经济五大核心场景。从具体来看,人工林(含经济林)以产量提升与质量管控为核心目标,特殊监测参数聚焦生长与成材指标;天然林(含古

树名木)以生态保护与结构稳定为核心,特殊监测参数聚焦生态结构与健康状况;草原以生态修复与载畜平衡为核心目标,特殊监测参数聚焦退化状态与载畜能力;自然保护区以生物多样性保护与人为干扰防控为核心,特殊监测参数聚焦旗舰物种保护与人为活动管控;林下经济作为林草产业增效的重要方向,特殊监测参数聚焦作物生长与养殖环境

林草监测传感器技术体系

基于林草监测核心参数需求,构建“空-天-地”一体化传感器组网架构,通过分层级传感器选型与精准部署,实现生态保护、安全防范、林下经济全场景监测覆盖。

天基卫星(高分五号)通过北斗短报文将宏观数据下传至区域网关,空基无人机(4G/5G)将中观数据实时上传,地基传感器通过LoRaWAN(传输距离5km)组网,最终汇聚至林草大数据平台。从具体来看,天基传感器层聚焦全域宏观监测,支撑战略决策,包括高光谱卫星传感器、热红外卫星传感器。空基传感器层聚焦区域中观监测,衔接宏观与微观,覆盖机载激光雷达传感器、多光谱无人机传感器。地基传感器层聚焦点位微观监测,保障实时管控,包括固定监测站集成传感器组、便携式手持传感器。

而不同场景传感器选型与部署方案也不同。

森林防火场景可采用“热释电红外+激光烟雾+AI视觉”多源复合预警方案。热释电红外捕捉温度异常,激光烟

雾传感器验证烟雾浓度,AI视觉通过形态分析区分火灾烟雾与炊烟,这种三级验证逻辑,可将误报率降至3%以下。其核心传感器配置包括热释电红外阵列传感器、激光散射烟雾传感器、集成热成像与可见光双模组。山区按网格布点,每个监测点集成太阳能供电系统,支架高度3~5m,避开植被遮挡;平原林区沿道路、林缘线每1000m部署1台,采用埋地电缆和太阳能双供电,配套4G/北斗双模传输模块,形成线性预警防线;关键区域(如寺庙、林区民宿周边)加密部署,间距缩小至300m,同时联动声光报警器,提醒周边人员及时撤离。

病虫害防控场景可采用“智能诱虫+环境监测+光谱分析”协同监测方案。核心传感器配置包括智能虫情测报灯、温湿度与孢子捕捉传感器、植被光谱传感器。按50亩/台密度布设在林分郁闭度0.6~0.8的区域,传感器支架高度1.5~2m(与林木冠层中部平齐),避免地面温湿度干扰;优先部署在病虫害历史发生区、林分交界处,每3台形成一个监测单

元,数据交叉验证以降低误报率;孢子捕捉传感器需每月清理一次捕捉片,温湿度传感器每季度校准一次,确保数据准确性。

林下经济场景分作物类型定制传感器组合方案。菌菇棚监测方案中的核心传感器包括温湿度传感器、二氧化碳传感器、光照强度传感器。每20㎡部署1个温湿度+光照传感器组合,悬挂于菌包上方0.5m处,避免直接接触菌包;二氧化碳传感器部署在棚内通风口对面墙壁,高度1.2m(与人呼吸高度一致);所有传感器接入棚内智能控制器,当温度>22℃或湿度<85%时,自动启动加湿机/通风扇;二氧化碳浓度>1500ppm时,联动天窗开启。

林下中药材种植监测方案中的核心传感器包括土壤多参数传感器、根系生长传感器、降雨量传感器。土壤传感器埋深15~20cm(中药材根系集中层),避开施肥区;根系生长传感器按1台/亩部署;降雨量传感器部署在种植区开阔处,支架高度1.5m,避免周边植被遮挡,数据用于调整

灌溉频率,如石斛种植区当周降雨量<20mm时启动滴灌。

林下养殖监测方案中的核心传感器包括氨气传感器、红外体温监测摄像头和水质传感器。氨气传感器部署在养殖区出风口墙壁,高度1.5m(家禽呼吸高度),配合轴流风机;红外体温摄像头安装在养殖棚顶部中央,视角覆盖整个养殖区;水质传感器沉入养殖池水深1/2处,数据每小时上传一次,溶解氧<5mg/L时启动增氧泵。

自然保护区场景采用“动物追踪+环境感知+人为干扰防控”传感器方案。核心传感器包括GPS动物项圈、红外触发相机。GPS项圈按目标物种种群数量的5%~10%佩戴(如大熊猫种群数量100只时,佩戴5~10只项圈),项圈重量不超过动物体重的3%;红外触发相机部署在野生动物通道(如兽径、水源地),镜头距地面0.8~1.2m,朝向动物行进方向;非法入侵传感器沿保护区边界布设,微波传感器与振动电缆交替部署,配合AI摄像头,实现边界24小时防控。

传感器解决方案的应用实践与典型案例

生态保护领域典型案例

四川大熊猫国家公园天然林监测采用“天基高分卫星+空基无人机+地基红外相机”三级监测体系。从具体来看,天基高分六号卫星每5天获取一次园区植被覆盖数据,通过NDVI指数变化监测天然林退化情况;空基搭载激光雷达的无人机,每年开展2次全域扫描,构建古树名木三维模型,识别重点保护树木;地基部署500台红外触发相机沿兽径、水源地布设,配合GPS项圈追踪大熊猫活动轨迹,实现“植被-动物-环境”联动监测。应用后,天然林郁闭度提升至0.85,大熊猫种群数量监测准确率达98%,非法采伐行为响应时间从48小时缩短至1小时。

内蒙古锡林郭勒草原生态修复针对草原沙化、牧草退化问题,构建“卫星遥感+土壤传感器+牧草高度监测仪”解决方案。从具体来看,天基风云三号卫星每月监测沙化面积变化,当沙化面积比例>15%时启动预警;地基按网格部署土壤传

感器,实时监测土壤水分、盐分,判断草原退化诱因;便携式牧草高度仪每季度抽样测量,当牧草高度<12cm时,触发休牧指令。2023—2025年,项目区沙化面积减少23%,牧草平均高度从8cm提升至18cm,载畜量从1.2羊单位/公顷增加至2.5羊单位/公顷,生态修复效率提升40%。

安全防范领域典型案例

云南在玉龙雪山周边林区部署“热释电红外+激光烟雾+AI摄像头”监测网络:沿林区道路每1000m布设热释电红外传感器,配合烟雾传感器,形成150km线性预警防线;关键区域,如游客集散地、寺庙周边,加密部署AI摄像头,支持明火/烟雾智能识别。系统联动林区消防基站,当监测到温度>60℃且烟雾浓度>150μg/m³时,30秒内推送报警信息至扑火队伍。2024年,该系统成功预警早期火点17起,火灾扑救响应时间缩短至15分钟,林区火灾发生率较2022年下降78%,过火面积减少85%。智能监测系统建设成本约200万元,传统人工巡查年成本约80万元,系统

投用后第二年即可收回成本,火灾扑救成本降低60%。

浙江针对松线虫病传播快、隐蔽性强的特点,构建“智能诱虫灯+孢子捕捉+光谱监测”预警体系:在杭州、宁波的松林集中区,每50亩部署智能诱虫灯,捕捉松褐天牛(松线虫病传播媒介),当虫口密度>30头/天时启动药剂防治;同步部署孢子捕捉传感器,每周收集线虫孢子,结合光谱传感器监测松树NDVI指数(下降≥0.1时预警)。2023—2024年,项目区松线虫病感染率从12%降至3.5%,防治成本较传统人工巡查模式降低55%,实现“早发现、早处置”的精准防控。

林下经济领域典型应用

福建古田在银耳大棚部署温湿度传感器、二氧化碳传感器,接入智能控制器,实现温度、湿度、二氧化碳浓度自动调控。当湿度<86%时,联动超声波加湿器启动;二氧化碳浓度>1200ppm时,开启通风扇。应用后,银耳出耳率从85%提升至98%,单棚产量增加20%,因环境波动导

致的烂耳率从10%降至1.5%,种植户亩均增收1.2万元。

安徽霍山采用土壤多参数传感器、降雨量传感器及滴灌联动系统:土壤传感器埋深15cm,实时监测pH值、EC值,当pH值>5.7时自动滴灌酸性营养液;降雨量传感器记录每周降雨量,若<20mm则启动滴灌。同时,部署根系生长传感器,跟踪石斛根系发育情况。2024年,霍山石斛多糖含量提升至38%,成活率从80%提升至95%,种植周期从3年缩短至2.5年,产业规模扩大30%。

江西在林下养殖区部署氨气传感器、红外体温摄像头。当氨气浓度>10ppm时,自动启动轴流风机通风;摄像头实时监测鸡群体温,当发现体温>42℃的个体时,推送报警信息至养殖户,及时隔离病鸡。配合水质传感器监测饮水池溶解氧,保障鸡群饮水安全。应用后,鸡群呼吸道疾病发生率从15%降至3%,成活率提升至98%,出栏时间缩短7天,养殖户每万只鸡增收2.8万元。

林草监测传感器产业已实现全场景覆盖

根据Grand View Research数据,2024年全球林草监测传感器市场规模达28.7亿美元,预计2030年将增长至56.3亿美元,年复合增长率11.8%。2024—2030年,森林防火传感器全球年增速10.5%,林下经济环境监测传感器年增速18.2%,为增速最快细分领域;其中,中国市场规模占比约25%(约合7.2亿美元),受“十四五”智慧林草规划推动,年增速达15.2%,中国林下经济传感器增速达22.5%,高于全球平均水平。细分领域中,森林防火传感器占比最高(32%),其次为病虫害监测(25%),林下经济环境监测(20%)、自然保护区动物监测(18%),其余5%为通用气象/土壤传感器。

当前,国内企业已在不同领域实现突破,硬件端以托普云农、海康威视为代表;系统集成端以中林集团、航天宏图为核心;初创企业如森工科技聚焦林下经济专用传感器。

尽管发展迅速,产业仍面临一系列挑战。在应用层面,场景适配性仍待提升,一方面,林下经济定制化不足,多数传感器为通用型,针对特定作物的专用传感器较少,需二次校准,增加农户使用成本;另一方面,基层运维能力薄弱,山区监测点维护周期长,传感器校准依赖专业人士。

在政策层面,标准与补贴体系不完善。不同地区林草部门采用的传感器参数阈值不一致,导致跨区域数据无法互通。此外,林下经济传感器补贴仅覆盖少数试点地区,多数农户需自行承担传感器采购成本,制约了技术推广。

展望未来,产业发展将呈现三大趋势:

技术方面,从“单一监测”迈向“智能决策”。核心传感器将持续升级,突破宽温域、高防护技术;融合AI算法,实现传感器端边缘计算。多源数据融合进一步深化,构建“天-空-地”实时数据链路,支持火灾、病虫害等突发事件的分钟级响应。此外,开发基于MEMS工艺传感器,成本较传统传感器降低70%。

应用方面,从“生态保护”迈向“产业赋能”。延伸传感器应用至林产品加工、流通环节,并推出“传感器+小程序”模式,农户通过微信接收环境预警,配套上门校准服务,降低运维门槛。

政策方面,强化标准与生态支持。统一监测标准,明确各场景传感器参数阈值、数据接口标准,实现全国数据互通。推动“传感器企业+林草合作社+科研机构”合作,形成“研发-应用-反馈”闭环。

林草产业监测是保障生态安全、推动乡村振兴的关键抓手,智能传感器作为“感知神经”,已实现从生态保护到林下经济的全场景覆盖。通过构建“空-天-地”一体化监测体系,可精准捕捉植被变化、火灾隐患、病虫害动态及作物生长环境数据,为林草资源管理提供科学依据。

当前,国内林草监测传感器产业虽在本土应用上取得突破,但核心精度、极端环境适应性及多源数据融合能力仍与国际领先水平存在差距。

未来须聚焦三大方向:一是技术突破,攻坚宽温域、高精度传感器及AI边缘计算模块;二是场景深化,开发林下经济专用传感器,推动轻量化应用;三是生态构建,完善统一标准与补贴政策,形成“研发-应用-反馈”闭环。通过传感器技术与林草产业的深度融合,可实现生态效益与经济效益双赢,为建设美丽中国、推动绿色发展提供坚实支撑。