

森林火灾监测及相关技术综述

彭禹^{1,2}, 蔡邦成² (1. 华东交通大学, 江西南昌 330013; 2. 环境保护部南京环境科学研究所, 江苏南京 210042)

摘要 对近年来国内外在森林火灾监测及相关技术方面取得的研究成果进行了总结, 主要包括地面及近地面监测、航空监测、雷达监测、卫星遥感联合地理信息系统监测和无线传感器网络技术, 并对今后的研究和发展方向进行了展望。

关键词 森林; 火灾; 监测; 技术

中图分类号 S762 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)32-11355-03

Review of Forest Fire Monitoring and Interrelated Technology

PENG Yu^{1,2}, CAI Bang-cheng² (1. East China Jiaotong University, Nanchang, Jiangxi 330013; 2. Nanjing Institute of Environmental Sciences of the Ministry of Environmental Protection, Nanjing, Jiangsu 210042)

Abstract The recent progress in forest fire monitoring and interrelated technology both domestic and overseas was reviewed, mainly including surface and near surface monitoring, air monitoring, radar monitoring, satellite remote sensing combined geographic information system monitoring, wireless sensor network technology, and future prospect in both research and development directions was presented.

Key words Forest; Fire; Monitoring; Technology

森林火灾, 也被称为野生大火, 是一种突发性强、危害性极大的自然灾害, 被认为是 21 世纪最严重的灾害之一^[1-2]。全球范围内每年发生森林火灾几十万次, 受灾面积达几百万公顷, 约占森林总面积的 0.1%, 森林火灾在毁灭森林资源的同时会燃烧基础设施, 可能会在城市附近造成重大伤亡事故^[3-4]。常见的诱因包括闪电、人为野外违规用火、燃料在炽热或干旱环境的长时间暴露等^[5-7]。森林防火不是消灭一切林火, 因为在某些情况下林火是森林生态系统的一部分, 它们是本土的很重要的栖息地, 所以低强度的地表火对于森林来讲大多是有益的^[8]。然而, 在大多数情况下, 其对自然资源和公共安全造成的损害是难以估量的, 所以早期检测和及时控制对于预防森林火灾、控制已有火情至关重要^[9-10]。

对森林区域环境主要关键因子的监测可有效预测区域火灾风险, 现代的林火管理技术的应用使得森林火灾监测已形成以空中卫星、飞机、地面了望台、护林员巡山护林的立体监测网^[11-13]。随着国内外航天、信息科技的迅速发展, 一些新技术, 如无人机、地面雷达、卫星遥感和分布式传感器网络系统已被用来探测森林火灾^[14]。已有的森林火灾监测及相关技术主要包括地面及近地面监测^[15]、航空监测^[16]、雷达监测^[17]、卫星遥感联合地理信息系统监测^[18]和无线传感器网络技术^[15-20]。笔者对近年来国内外在森林火灾监测技术方面研究成果进行了综述, 旨在为控制森林火灾提供参考。

1 地面及近地面监测

近地表观测主要包括瞭望塔(台)和视频监测等手段, 是林火立体监测网的硬件基础, 但瞭望台监测受地形、地势等诸多条件的限制^[21-22]。地面监测主要通过护林人员在林内开展地面巡护以发现和通报火情, 阻止进山人员, 但此种监测方式人力和时间花费大, 且存在疏漏^[15, 23]。借助地面巡护

车辆, 能提高护林人员进行地面监测的效率, 全地形林火地面巡护扑救车能有效解决传统巡护摩托车稳定性和越野性不足的问题^[24-25]。地面巡护车辆配备车载卫星定位系统和远程管理软件系统能实时精确地采集和回传灾害现场的关键信息, 为防火指挥部门提供详细准确的火灾现场数据^[26]。

2 航空监测

航空监测主要利用航空护林飞机和无人驾驶飞机进行巡护, 是监测林火最有效的途径之一, 是构成立体监测网的重要组成部分^[16, 21]。目前航空巡护主要有固定翼飞机巡护、直升机载人巡护和直升机升高瞭望^[27]。航空手段在管理森林火灾中除了能辅助森林消防队员进行灭火和物资运输, 也能用于火灾监测和火情探测。航空巡护时采用望远镜辅助观察火情, 可在一定程度上提高火情发现率和准确率, 减小因植被丛生、乔木郁闭、垂直俯视等因素造成的干扰^[28]。可视航拍遥控器在森林航空巡护中的应用有效避免了人工观察视角小、范围有限和作业量大的弊端^[29]。全球定位系统(GPS)在领航引导飞机进行卫星热点侦察核实、准确提供火场要素和勾绘火场示意图中起到了重要作用^[30]。在我国, 航空护林的发展总体上还处在起步阶段, 与当前森林防火工作需要还有一定差距^[31]。我国南方林区的机型主要有 M-26、K-32、M-171 直升机和 Y-12 固定翼飞机, 其中直升机主要用于航空直接灭火, 固定翼飞机主要用于巡护和火场侦察^[32]。

无人驾驶飞机(UAV)也叫无人机, 已在军队中得到广泛应用, 但随着无人机技术的成熟、传感器和摄像机的小型化、新型传输和控制系统的出现, 无人机技术的应用在民用领域得到了拓展, 如自然灾害、检验、搜救、交通监测和执法等^[33-34]。相比载人飞行器, 无人机的固有风险较小, 使用成本较低, 且能自动监测火灾和探测火情, 并及时发送图像和数据信息到地面基站和控制中心^[35]。基于卫星系统的高空、长航程型无人机能增加图像的分辨率和更新率, 但是在火灾高发期, 其整体性能受系统本身影响较大^[36]; 低空、短航程型无人机弥补了上述缺点, 在低空飞行时能够捕捉到高

基金项目 江苏省第四期“333”高层次人才培养工程基金项目。
作者简介 彭禹(1989-), 男, 四川南充人, 硕士研究生, 研究方向: 大气污染控制。
收稿日期 2014-10-11

分辨率的图像,能及时更新火场信息并提供给消防人员,但由于不能装填足够的燃料,导致不能执行时间较长的任务^[19,37]。

3 雷达监测

有关雷达探测火灾的研究已有较多报道^[17,38]。黄克慧等^[39]通过分析距离雷达站5~100 km的不同规模的森林火灾,发现新一代多普勒天气雷达CINRAD/SA能对森林火灾进行监测,且火灾引起的回波不同于气象回波,具有水平尺度小、顶高度低、强度强的特点。基于上述观测和分析成果,提出了自动识别火灾回波的“火灾杂波过滤法”和“降水回波过滤法”,并在此基础上研制了基于多普勒天气雷达的火情自动识别系统,其在为期1年的试运行中,对火情预警的命中率(POD)、误警率(FAR)和临界成功指数(CSI)分别为79%、4%和76%。Lavrov等^[40]通过研究森林火灾的烟雾扩散,证明了激光雷达作为一种半定性预测森林火灾烟雾的工具,具有一定的灵敏度和可靠的感烟探测范围。Bozier等^[41]通过使用多普勒激光雷达观测俄罗斯森林大火的烟雾,有效地对其流场进行了连续监测。

4 卫星遥感联合地理信息系统监测

卫星遥感技术特别是红外卫星遥感已成为森林火灾监测的一种有效手段。借助于卫星遥感和林火地理信息系统(EOS/MODIS),可克服人力和飞机监测所带来的使用费用高、工作繁杂、盲区监测计算精度低等不足^[17-18]。卫星遥感图像质量决定于卫星自身的性能、卫星工作的外部客观环境、对遥感图像处理所采取的技术方法^[42]。我国的环境一号卫星A、B星(简称HJ-1A卫星,1B卫星),搭载了红外多光谱相机的HJ-1B卫星,在早期火灾发现、中期灾害跟踪和后期灾害损失评估中发挥了重要作用^[43]。卿清涛^[44]等以四川省农业气象中心EOS/MODIS资料为基础,通过试验研究发现,设置合理的川西山区森林火灾遥感监测参数可显著提高监测的准确性。赵慧颖^[45]通过极轨气象卫星遥感监测植被指数数据 displays 植被指数(归一化)在0.6~0.8的地区火灾的次数相对较少,且主要以雷击火为主。

5 无线传感器网络技术

在森林火灾探测系统中,最关键的问题是如何快速响应以减少灾难的规模,这需要不断地监测森林面积^[19,46]。由于分辨率较低、扫描时间较长,当前中、大规模火灾监测系统不能实现及时地发现^[47]。无线传感器网络作为一种解决上述问题的方案已得到广泛认可,该技术能提供实时灾情资料,且具有较高的探测精度^[48]。目前,传感模块可感知各种现象,包括温度、相对湿度和烟雾,有利于火灾探测系统。此外,最近的协议使传感器节点能够自行组织成一个自配网络,省去繁琐的手工设置^[49]。而且大规模无线传感器网络可以很容易地使用飞机进行部署,其成本远低于森林火灾所造成的破坏和损失^[50]。

森林火灾监测是无线传感器网络在环境监测方面的一个研究领域,但由于森林火灾的危险性较高,目前缺乏相关的实地试验研究^[51-53]。Kosucu等^[54]进行了室外实地试验

研究,分析了各种参数,如链路和节点故障、拓扑结构和物理性质(风向、点火点位置和采样周期)对火灾的影响。张新等^[55]对基于无线传感器网络的森林火灾监测系统的火焰探测模块进行设计研究,实现了探测模块硬件上对火灾信号的采集及处理和软件上对数字滤波以及火灾的识别。张军国等^[56]构建了一种基于ZigBee无线传感器网络的森林火灾实时监测系统,该系统能够监测林区温湿度等相关环境参数的变化,为有关部门采取相应的防火或灭火措施提供决策依据。

6 展望

森林火灾失去人为控制后,将会给生态系统及人类带来不可估量的危害和损失。早期监测是预防森林火灾发生、及时控制火情的有效手段。对森林火灾的监测,传统方法和新技术都有各自的优缺点,为提高早期监测在森林火灾防治中的效果,建议如下:①开展已有火灾数据分析,加强重点区域和特殊年份的监测工作;②提高设备的监测精度,增加火情评估的准确性,减小火灾火情的误报;③研发火情实时监测系统,发挥传统方法和新技术各自优势;④构建全国森林监测体系,实现灾情数据共享和防治资源优化。

参考文献

- [1] 胡华. 森林生态防火的探讨[J]. 消防技术与产品信息, 2003(4): 51-54.
- [2] KOUTSIAS N, XANTHOPOULOS G, FOUNDA D, et al. On the relationships between forest fires and weather conditions in Greece from long-term national observations (1894 - 2010) [J]. International Journal of Wildland Fire, 2013, 22(4): 493-507.
- [3] 魏书精, 孙龙, 魏书威, 等. 气候变化对森林火灾的影响及防控策略[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 36-40.
- [4] 舒立福, 田晓瑞. 世界森林火灾状况综述[J]. 世界林业研究, 1998, 11(6): 41-47.
- [5] 黄文军, 邱素英. 浅论在林区试行森林防火风险抵押金制度[J]. 森林防火, 2012(2): 10-12.
- [6] 刘发林, 张思玉. 自然保护区森林防火对策探讨[J]. 林业经济问题, 2009, 29(5): 392-394.
- [7] PODUR J J, MARTELL D L. The influence of weather and fuel type on the fuel composition of the area burned by forest fires in Ontario, 1996-2006 [J]. Ecological Applications, 2009, 19(5): 1246-1252.
- [8] AMACHER G S, MALIK A S, HAIGHT R G. Not getting burned: the importance of fire prevention in forest management [J]. Land Economics, 2005, 81(2): 284-302.
- [9] 陈润钦. 浅谈山区森林防火的原因分析及对策[J]. 中国科技博览, 2010(27): 250.
- [10] 肖作林. 浅谈森林防火的对策和建议[J]. 中国林业, 2010(6): 36-51.
- [11] Forest fires: behavior and ecological effects [M]. San Diego, CA: Academic Press, 2001.
- [12] 陈志红, 陈必和. 森林火灾的危害及防火措施[J]. 现代农业科技, 2012(1): 236.
- [13] 刘海东. 森林火灾预防与扑救措施探讨[J]. 现代农业科技, 2014(4): 172-173.
- [14] SAHIN Y G, INCE T. Early forest fire detection using radio-acoustic sounding system [J]. Sensors, 2009, 9(3): 1485-1498.
- [15] 黄龙, 谢阳生, 唐小明, 等. 集成多业务的林业外业巡护系统研究与应用[J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(6): 871-879.
- [16] CASBEER D W, BEARD R W, MCLAIN T W, et al. Forest fire monitoring with multiple small UAVs [C]// American Control Conference, Proceedings of the 2005. IEEE, 2005: 3530-3535.
- [17] 郭朝辉, 亓雪勇, 龚亚丽, 等. 环境减灾卫星影像森林火灾监测技术方法研究[J]. 遥感信息, 2010(4): 85-88.
- [18] 付桂琴, 张文宗, 赵春雷, 等. 河北省森林火险预报模式的改进及应用[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 579-583.
- [19] 李光辉, 赵军, 王智. 基于无线传感器网络的森林火灾监测预警系统

- [J]. 传感技术学报, 2007, 19(6): 2760 - 2764.
- [20] 吴雪琼, 覃先林, 李程, 等. 我国林火监测体系现状分析[J]. 内蒙古林业调查设计, 2010(3): 69 - 72.
- [21] 刘茂兰. 森林火灾防治技术[J]. 现代园艺, 2013(12): 219.
- [22] 刘佳. 新时期森林防火工作的分析[J]. 黑龙江科技信息, 2013(21): 281.
- [23] 范东滨, 于建国. 全路况林火巡护车辆巡护追踪系统设计[J]. 森林工程, 2012(5): 43 - 46.
- [24] 于建国, 官俊凤. 全地形林火地面巡护扑救车越障性研究[J]. 林业机械与木工设备, 2008(5): 13 - 14.
- [25] 屈燕, 杨志凌, 区智. 昆明市森林防火监测系统建设构想[J]. 现代农业科技, 2012(12): 163 - 164.
- [26] 张宝柱, 孙继生. 对我国航空护林发展问题的思考[J]. 森林防火, 2004(4): 38 - 40.
- [27] 杨兆西. 望远镜在航空巡护中的应用[J]. 森林防火, 1990(1): 23.
- [28] 梁江. 探讨可视航拍遥控器在森林航空消防中的应用[C]//第二届中国林业学术大会—S7 新形势下的森林防火问题探讨论文集. 中国林学会, 2009.
- [29] 杨涛, 赵乔明. 浅析 GPS 在航空护林中的应用[J]. 森林防火, 2001(1): 16.
- [30] 刘硕. 谈提高航空护林效益的关键环节[J]. 森林防火, 2013(1): 50 - 52.
- [31] 杨林, 梁玛玉, 陈宏刚, 等. 南方森林航空消防安全生产对策研究[J]. 森林防火, 2012(1): 51 - 55.
- [32] OLLERO A, MERINO L. Control and perception techniques for aerial robotics[J]. Annual Reviews in Control, 2004, 28(2): 167 - 178.
- [33] 李云, 徐伟, 吴玮. 灾害监测无人机技术应用与研究[J]. 灾害学, 2011, 26(1): 138 - 143.
- [34] 杜建华, 高仲亮, 舒立福. 森林火灾探测扑救中的无人机技术及其应用[J]. 森林防火, 2013(4): 52 - 54.
- [35] 李德仁, 李明. 无人机遥感系统的研究进展与应用前景[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2014, 39(5): 505 - 513.
- [36] 朱自强, 王晓璐, 陈泽民, 等. 无人驾驶飞行器的气动特点和设计[J]. 航空学报, 2006, 27(2): 161 - 174.
- [37] CASBEER D W, KINGSTON D B, BEARD R W, et al. Cooperative forest fire surveillance using a team of small unmanned air vehicles[J]. International Journal of Systems Science, 2006, 37(6): 351 - 360.
- [38] 黄克慧, 周功挺, 谢海华, 等. 森林火灾的 CINRAD/SA 雷达监测[J]. 气象科学, 2007, 27(B12): 99 - 106.
- [39] 黄克慧, 朱景, 黄以平, 等. 基于多普勒天气雷达的火情自动识别系统[J]. 气象, 2013, 39(2): 241 - 248.
- [40] LAVROV A, UTKIN A B, VILAR R, et al. Evaluation of smoke dispersion from forest fire plumes using lidar experiments and modelling[J]. International Journal of Thermal Sciences, 2006, 45(9): 848 - 859.
- [41] BOZIER K E, PEARSON G N, COLLIER C G. Doppler lidar observations of Russian forest fire plumes over Helsinki[J]. Weather, 2007, 62(8): 203 - 208.
- [42] 郭朝辉, 亓雪勇, 龚亚丽, 等. 环境减灾卫星影像森林火灾监测技术方法研究[J]. 遥感信息, 2010(4): 85 - 88.
- [43] 张廷斌, 唐菊兴, 刘登忠. 卫星遥感图像空间分辨率适用性分析[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(1): 79 - 82.
- [44] 卿清涛, 谢向明, 张顺谦, 等. EOS/MODIS 卫星遥感监测四川省森林火灾的阈值设置研究[J]. 四川气象, 2007, 27(2): 24 - 25.
- [45] 赵慧颖. 大兴安岭东部森林火灾发生的气候条件辨识[J]. 森林防火, 2006(2): 18 - 20.
- [46] 许志卿, 苏喜友, 张颐. 基于支持向量机方法的森林火险预测研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(13): 126 - 131.
- [47] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282 - 1291.
- [48] 张军国. 面向森林火灾监测的无线传感器网络技术的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [49] 宋贇存, 陈宁, 李迪飞. ZigBee 无线传感技术在森林火灾监测中的应用[J]. 自动化仪表, 2011, 32(4): 50 - 52.
- [50] HEFEEDA M, BAGHERI M. Wireless sensor networks for early detection of forest fires[C]//Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2007. MASS 2007. IEEE International Conference on. IEEE, 2007: 1 - 6.
- [51] BAHREPOUR M, MERATNIA N, HAVINGA P J M. Automatic fire detection: A survey from wireless sensor network perspective[R]. 2008.
- [52] CHACZKO Z, AHMAD F. Wireless sensor network based system for fire endangered areas[C]//Information Technology and Applications, 2005. ICITA 2005. Third International Conference on. IEEE, 2005: 203 - 207.
- [53] 匡兴红, 邵惠麟. 无线传感器网络网关研究[J]. 计算机工程, 2007, 33(6): 228 - 230.
- [54] KOSUCU B, IRGAN K, KUCUK G, et al. FireSenseTB: a wireless sensor networks testbed for forest fire detection[C]//Proceedings of the 2009 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing: Connecting the World Wirelessly. ACM, 2009: 1173 - 1177.
- [55] 张新, 李文彬, 曹志勇. 基于无线传感器网络的森林火灾监测系统火焰探测模块设计[J]. 森林工程, 2011(2): 52 - 55.
- [56] 张军国, 李文彬, 韩宁, 等. 基于 ZigBee 无线传感器网络的森林火灾监测系统研究[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(4): 41 - 45.

(上接第 11354 页)

3 政府在发展林下经济中的作用

3.1 鼓励、引导不同合作经营模式 目前, 多种多样的农业种植专业合作社迅速发展起来, 有意愿发展林下经济的农户也可向政府申请成立专业合作组织, 政府相关部门应给予相应的政策和技术指导。专业合作社能够有效整合各类资源、有效联结组织农户、有效共同抗御市场风险, 因此应大力提倡专业合作社, 形成发展林下经济的合力, 将效益最大化、风险最小化。另一方面积极发展“公司 + 基地 + 农户”的经营模式, 形成生产、加工和销售一站式服务, 为公司提供稳定货源, 为农户提供稳定收益。该模式是一种发展潜力大、市场带动力较强、辐射面较广的经营模式, 互惠互利, 各得其所。

3.2 积极发布惠农政策, 提升农民发展信心 一方面, 各级政府应充分意识到发展林下经济的重要性、长远性, 组织开展专项调研, 发展适合本地区的林下经济, 做好宣传发动, 为发展林下经济提供政策、资金、技术和信息等全方位的服务, 免除农户的后顾之忧。另一方面, 要树立典型代表, 扶持林下经济大户。农民在接受新鲜事物时普遍具有观望性, 通过林下经济大户的示范带动作用, 加之政府的引导, 林下经济

必将迎来一个发展的高峰, 为农民创造效益。

参考文献

- [1] 王焕良, 王月华, 谷振宾. 做好林下经济发展这篇大文章[J]. 林业经济, 2011(1): 30 - 35.
- [2] 陈静. 试述农林复合经营在林业发展中的地位与作用[J]. 河北林业科技, 2009(6): 30 - 32.
- [3] 贾治邦. 提高认识挖掘潜力全面开创平原林业建设新局面[J]. 林业经济, 2008(6): 3 - 7.
- [4] 孟平, 张劲松, 高峻. 中国复合农林业发展机遇与研究展望[J]. 世界林业研究, 2004(12): 30 - 34.
- [5] 王照平. 平原区转变林业发展方式的实践探索[J]. 林业经济, 2010(9): 6 - 8.
- [6] 张全林. 关于山西林下经济发展的思考[J]. 山西林业, 2013(1): 6 - 7.
- [7] 郝晓蓉. 山西省林下经济发展前景探讨[J]. 山西林业, 2012(1): 13 - 14.
- [8] 胡国强, 周桂荣, 张连合. 京津冀一体化下发展河北林下经济研究[C]//廊坊市社会科学联合会. 2010·中国·廊坊基于都市区辐射功能的京津冀一体化研究——同城全面对接暨京津廊经济一体化学术会议论文集. 北京: 中国经济出版社, 2010.
- [9] 王虎, 夏自谦, 冯达. 河北省林下经济产业规划布局研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(13): 7041 - 7043.
- [10] 胡俊达, 胡艳东. 关于加快我省林下产业发展的几点思考[J]. 河北林业, 2009(1): 12.
- [11] 刘宝素, 李瑞平. 河北省林下产业的发展现状及存在问题与发展对策[J]. 河北林业科技, 2007(S1): 33 - 35.
- [12] 肖永青, 孟宪平, 李娟, 等. 河北省林下经济发展的思考[J]. 河北林业科技, 2013(2): 81 - 88.