

低轨卫星物联网在森林防火监测中的应用

何 建,邱庆举,丁 晟

(青岛上合航天科技有限公司, 山东 青岛 266300)

摘要:介绍了无线传输网络在森林防火监测中的作用,并针对森林防火监测终端典型的部署场景,运用低轨卫星物联网的解决方案。指出低轨卫星物联网具有广覆盖、低时延和低成本等特点,可成为森林防火监测终端可靠的回传链路,且终端的小型化可以满足物联网终端低功耗的要求。以国外主流低轨卫星物联网企业的应用案例作为参考,结合低轨卫星物联网未来的建设规划和森林防火领域的信息化发展趋势,对低轨卫星物联网在森林防火领域应用的前景进行了展望。

关键词:应急;森林防火;火焰探测;低轨卫星;物联网;监测

中图分类号:S762.3⁺2;TN927⁺.23;V19

文献标志码:B

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2022.02.007

Application of low-orbit satellite Internet of Things in forest fire monitoring

He Jian, Qiu Qingju, Ding Sheng

(Qingdao Geesatcom Technology Co., Ltd., Qingdao 266300, China)

Abstract: After the key role of wireless transmission network analyzed in forest fire monitoring (FFM), the solution of low-orbit satellite Internet of Things (IoT) was introduced for typical deployment scenarios of FFM terminals. It was pointed out that low-orbit satellite IoT could be a reliable backbone for FFM terminals due to its characteristics of wide coverage, low delay and low cost, and that the miniaturization of terminals could meet the requirements of low power consumption of IoT terminals. And the use cases of mainstream foreign low-orbit satellite IoT enterprises were also listed in forest fire prevention as reference. Combining the future construction planning of low-orbit satellite IoT with the informatization development trend in forest fire prevention, the application prospect of low-orbit satellite IoT in this respect was made.

Key words: Emergency response; Forest fire prevention; Fire detection; Low-orbit satellite; Internet of Things (IoT); Monitor

2019年以来,全球遭受了多次森林大火侵袭,亚马逊雨林、澳大利亚内陆、法国瓦尔省、土耳其以及希腊等特大森林火灾造成上亿公顷的森林被毁,我国四川凉山州发生2起森林大火共造成50人遇难。森林火灾不仅造成了巨大的人力物力损失,还给生态环境带来了严重影响,除了导致动物和植物丧生,每公顷森林燃烧将排放碳5—30 t,全球平均每年大气中有多达130亿t的额外碳排放来自森林大火,超过全球每年碳净增量的1/4。

森林火灾一旦发生,其扑灭起来非常困难,在火灾发生前或在萌芽状态时探知尤为重要,也一直

是森林防火研究的目标,早期的林火监测就是利用各种手段在林火发生前或开始时及时检测出并报警^[1]。随着信息技术的发展,地理信息技术、空间定位技术、远程视频林火自动识别监测技术、红外热成像监测技术、卫星和航空遥感监测技术、无人机航测遥感技术、无线传感器网络技术等一批现代信息技术正逐步在林火监测工作中得到应用,直接推动了林火监测技术的创新^[2]。我国传统的森林火灾监测方式是以人工瞭望和建立视频监控系统为主,目前则可以借助传感技术、无线通信技术对森林中的温湿度、烟雾浓度等进行精确的监测,获

收稿日期:2022-02-04;修回日期:2022-02-27

作者简介:何 建(1985-),男,山东曲阜人,工程师,硕士。研究方向为卫星应用。Tel:15996285721;E-mail:hejian0510@126.com

得具体数据后进行数据分析,及时调度资源将隐患消除在萌芽期,从而减少森林火灾的发生^[3]。

无线通信链路是现代森林防火监测的重要纽带,只有建立起可靠的无线传输网络,才能及时传递火灾信息,发挥火险预警、监测等功能,从而快速有效地组织林火扑救工作。随着窄带物联网终端的成本降低,针对目标监测区域规模性部署林火监测终端成为可能,此举既能更早地在暗火期间感知火情,又能获得更精确的位置信息。但目前大面积的山林缺乏地面无线网络覆盖,如部署监测终端就需要覆盖广和稳定性高的传输手段。作为万物互联版图的有力补充,不受地理条件影响并具备全天候服务能力的卫星,可以为林火监测终端提供可靠的传输链路,而近年来兴起的低轨卫星物联网,则以低成本的优势成为最具潜力的解决方案。

1 森林防火物联网探测终端通信需求

通过传感器,对植物燃烧产生的一氧化碳和二氧化碳发出的特定红外光谱进行火焰探测识别,与视频监控方式相比,受环境因素影响小。林火探测器终端通常包含传感器和无线通信模块。传感器依据监测目标不同,可分为火焰传感器、气体传感器、温湿度传感器等。传感器的信号数据通过串口线汇集至终端内部微处理器 MCU,可利用通信模块将数据回传至无线网关节点,再经有线或无线骨干网络传输至服务器。终端回传的数据通常为几个字节的固定格式报文,网关节点的回传带宽要求也通常低于 1 kbps,对骨干回传链路带宽要求较低。

以火焰探测器为例,火焰探测传感器网络由分布在森林边界及林内的若干个探测器构成,探测终端可在 10 s 内探测出 100 m 范围内不大于 1 m² 大小的早期火焰,探测数据通过本地物联网传输至物联网网关,再经过运营商网络提供的 GPRS 或 NB-IoT 等业务通道传输到森林防火预警监控中心。但大面积的森林地带往往远离运营商网络,缺乏低成本的无线骨干回传网络。

2 低轨卫星物联网特点

与地基物联网相比,基于卫星的天基物联网的特殊性主要在于传输信道不同,即利用卫星作为中继来实现物联网信息的传输^[4]。天基物联网覆盖范围广,可以实现全球覆盖;受天气和地理环境影

响小,可全天时连续工作;抗毁性强,提高系统可靠性;系统容量大,可支持海量连接。

随着火箭发射成本的下降以及卫星制造能力的提升,低轨道卫星星座的建设具备了成熟条件。与采用高轨道同步卫星相比,利用近地低轨道卫星实现物联网通信能够降低传播时延、提高消息的时效性,减小传输损耗从而有助于终端的小型化,降低传输功耗从而为长时间续航保留足够电能;同时,通过多颗低轨卫星构成星座,实现包括两极在内的全球无缝覆盖,提高物联网的覆盖范围,低轨卫星高频段、见天通的特性,可解决山区、丛林等高轨道卫星视线受阻,地形内通信效果差的问题;此外,采用低轨卫星还可避免高轨卫星轨道位置有限和频率协调难的问题^[5]。

3 低轨卫星物联网森林防火数据传输解决方案

当前低轨卫星可提供 1 kbps 以上的数据传输能力,可满足远洋运输、跨境物流、能源设施监控、环境监测、应急救援等领域的绝大部分物联网数据传输需求。在现有终端缺乏接入能力的情况下,低轨卫星通常提供通信芯片或模组给地面终端。

对于重点监测区域,探测终端的布设密度极大,根据探测器的有效距离,监测区域约每隔 100 m 即需要安装 1 个传感器^[6]。但单个的探测终端数据量通常仅为几个字节,若每个终端均集成 1 个通信芯片则总的部署成本随之上涨。因此,对于密集监测场景可以采用低成本的物联网汇聚方案,建议引入 LoRa 网关组网方案,林火探测终端数据先通过 LoRa 链路汇聚至 LoRa 网关,再由网关中转经低轨卫星链路进行传输。根据传播模型和实际场景测试,LoRa 基站(网关)在森林环境的覆盖半径为 5—10 km,可大大降低区域内的终端硬件成本和流量套餐资费。针对线状或树状等延伸覆盖场景,还可在 LoRa 网关上增加自组网实现多跳接力传输;同时,使用 LoRa 网关中转方案也可解决部分处于信号遮挡的非视距区域点位的数据回传问题^[7]。对于监测点位分散场景,则可直接采用集成低轨卫星物联网芯片的通信终端(见图 1)。

4 低轨卫星物联网应用于森林防火的优势

物联网终端可以实现全天候的监测,能够弥补光学遥感在夜间或阴天时段成像受限的不足;同时,基于物联网终端的近距离探测和即时告警上报,监测人员可以比通过遥感更快地获得林火预警信息;另外,根据物联网终端上传的位置信息,可针对性获取对应位置最新的遥感信息进行交叉验证,提高异常热源点判别的精准度,可减少人员前往事

发点现场核实的次数,并且更早地组织调派应急救援力量进行扑火。

除了为固定的物联网终端提供通信外,低轨卫星还可为巡护和应急救援人员的手持终端和生命手环提供信息回传链路,提供如高精度定位、定位信息回传以及 SOS 紧急呼救等功能。与前述固定场景的数据传输解决方案相似,巡护和救援人员可使用低轨物联的便携式终端,为已配备的常规智能手机或生命手环提供热点接入,或直接使用内嵌有低轨卫星通信芯片的手持终端通信(见图 2)。

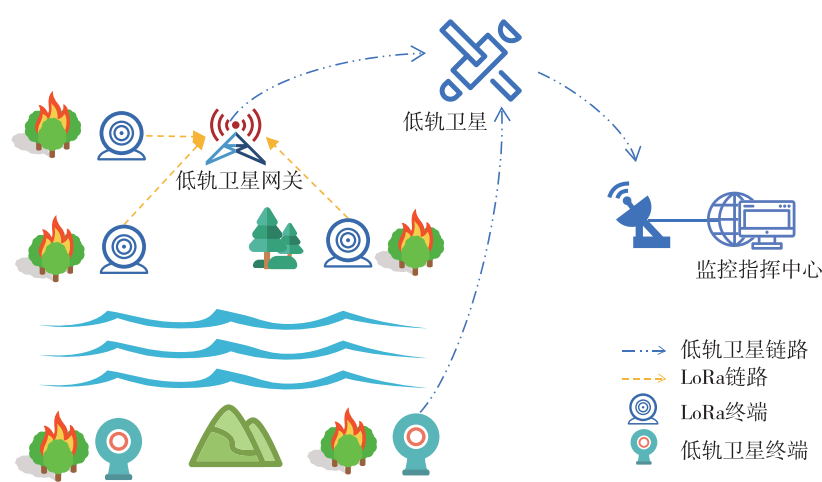


图 1 林火探测终端数据低轨卫星链路回传方案

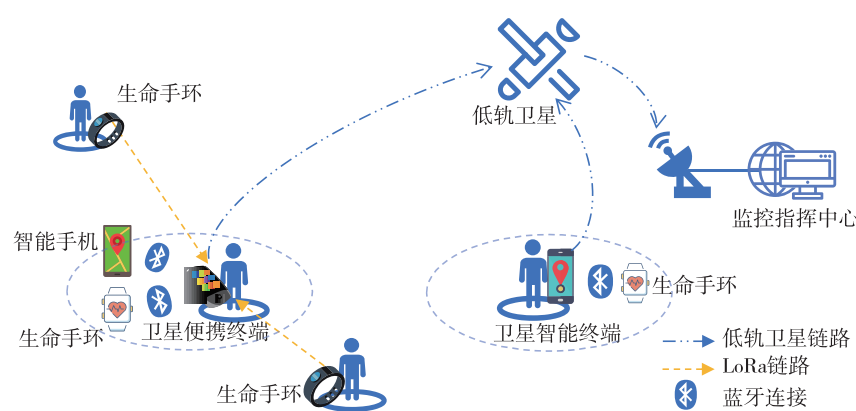


图 2 低轨卫星移动通信终端扩展连接图示

低轨卫星物联网相关的入网操作和业务使用非常方便,与使用地面运营商网络类似,行业用户仅需购买终端和申请 SIM 卡即可,低轨物联运营商会根据用户业务需求类型开通相应的数据业务,并将终端数据实时转发至客户业务平台。由于低轨卫星星座容纳用户量远远多于高轨通信卫星,终端

申请 SIM 卡更容易,且低轨卫星物联网的流量资费仅为现有高轨卫星的 1/20,极大降低了使用成本。

低轨卫星终端支持远程维护管理,管理人员可从监控中心的网络管理界面上查看监控终端工作状态和电池剩余电量,低轨物联网终端可以利用 1 块电池续航数年,必要时可以从后台向巡护人员下

发任务由其顺路更换。手持终端由于沿用了当前智能手机的用户习惯,从扩展设备的连接到内置的业务 APP 操作均可通过简易指导即上手。

5 国外应用案例

5.1 Swarm Technologies 为 Dryad 网关提供数据回传服务

SwarmTechnologies(蜂群技术公司)是美国加州的低轨卫星物联网公司,专注于低成本的物联网数据回传解决方案,目前已有 120 颗卫星在轨运行,可提供全球覆盖,支持单个终端 1kbps 的数据传输业务。2021 年 7 月,Swarm 已被 SpaceX 收购,成为后者“太空互联网+太空物联网”战略的重要拼图。

Swarm 与德国的 DryadNetworks(树精网络公司)合作,将低轨卫星终端通信模组嵌入到 Dryad 的林火监测物联网网关产品(如图 3)中。Dryad 开发的 Silvanet 系列物联网产品主打的卖点是极早期火焰探测功能,Silvanet 由前端的灵敏传感器、基于 LoRa 的物联网网关以及后台的监测分析软件组成。Silvanet 通过传感器终端感知空气中的烟雾含量变化,传感器终端数据可通过 LoRa 链路传输至就近 Silvanet 网关,再经骨干网络传回至运营中心,运用大数据工具分析和 AI 技术判别,可于 30—60 min 内探出早期火情,此时通常在阴燃变为明火之前。

Silvanet 需要广域回传的骨干网络,然而设备布设的区域往往需要面临没有 4G 甚至是 2G 网络的情景,Swarm 的卫星链路为 Dryad 提供了关键的骨干网络,使其能够在需要的地方部署探测传感器,并且以每月低至 5 美元的流量套餐,让 Dryad 传感器的密集布设不受高价流量费所限。嵌入 Swarm 通信模组的 Silvanet 产品在欧美和澳洲得到了广泛应用,其中在德国埃伯斯瓦尔德建设有示范点。

5.2 Iridium 为 Intellisense 的多工作站系统提供回传链路

Iridium(铱星)系统是由 66 颗低轨卫星组成的卫星通信系统,第 1 代“铱星”星座于 1998 年建设完成,实现了包括南、北极在内真正的全球覆盖,支持语音和数据通信业务。2017 年 8 月,第 2 代“铱星”星座部署完毕,新的 2 代“铱星”系统开发了名为“Iridium Certus”的新型多功能系列服务平台,便于针对不同业务提供不同等级的速率组合数据服务,对应森林防护类的遥测和远程监控等应用的分类型号为 Certus 20,数据传输速率为 22 kbps。

加州南部湾区的 Intellisense(智能感知系统公司)是一家领先的综合环境感知解决方案提供商,Intellisense 开创性地开发了基于物联网的传感器终端,为非政府组织、企业、联邦、州和地方政府提供快速应对灾害的能力,产品重点应用领域包括洪水和野火监测预警等。Intellisense 的多工作站系统 MWS-C410(如图 4)作为专用野火监测终端,在美国中西部地区广泛应用,Iridium 为该设备在偏远的荒野地区使用提供至关重要的网络连接,让应急管理部门能够迅速地感知发生在各地的森林火灾。



图 3 内嵌 Swarm 模组的 Dryad 物联网网关
(图片来源: Dryad Networks)



图 4 Intellisense 多工作站系统 MWS-C410
(图片来源: Intellisense)

5.3 Lacuna Space 为东南亚和南美地区森林防火提供天基 LoRa 接入方案

Lacuna Space 是一家总部位于英国牛津的低轨卫星初创公司,针对低速物联网业务提供超低成本跟踪和监测服务。Lacuna 的卫星是低轨物联网网关卫星,可接收地面 LoRa 传感器终端的数据,整个星座由 32 颗卫星组成,截至 2021 年底已有 5 颗卫星在轨运营。

Lacuna 与 LoRa 标准的主要发起者 Semtech 公司合作, Semtech 开发的 LoRa 开放协议广泛应用于低功耗物联网领域, Semtech 帮助 Lacuna 将通用的 LoRa 通信终端直接连接到其卫星网关, 从而将 LoRa 网络扩展至太空, 也让 Lacuna 具备了直接利用商用现货终端的优势。

Lacuna 在森林防火领域的早期合作伙伴 Sustainability Tech, 是一家专注于东南亚热带森林生态系统的技术系统开发商。Sustainability Tech 与 Lacuna 合作, 生产了新的基于卫星连接 LoRa 物联网传感器终端(如图 5), 让商业种植园管理者和森林防护部门, 都能够通过联网设备监测火灾风险, 在获得精准数据的情况下有效地监测和管理大面积林业资产。低轨卫星物联网改善了 Sustainability Tech 传感器网络的覆盖范围, 也为最终客户降低了建设和使用成本。



图5 Lacuna 在印尼泥炭地的监测终端
(图片来源: Lacuna Space)

此外, Lacuna 通过哥伦比亚的合作伙伴 Interco

Cloud, 将其低轨物联网监测应用推广至整个拉丁美洲的森林。

6 低轨卫星物联网发展趋势

全球约有4 000万 km²森林, 低轨卫星为森林行业海量的物联网终端提供全天候的数据传输链路, 需要足够数量的卫星星座支撑。除上述3家已在森林防火行业开展业务, 目前全球有数十家低轨卫星公司已经完成或正在建设其低轨卫星星座。

国外方面, 已建成的低轨卫星系统最典型的是美国轨道通信公司的 Orbcomm 系统, Orbcomm 成立于1991年, 2015年第2代卫星的发射工作完成, 目前在轨卫星数量为60颗。2016年3月, Orbcomm 第2代最后11颗卫星启动了商业服务, 可提供4.8 kbps 上行数据传输服务^[8]。

除了 Orbcomm, 另有一批来自欧美的初创公司已经布局低轨物联网星座, 规划卫星数及在轨运行卫星数如图6: 美国 Kepler 通信公司计划在2022年完成由140颗 Ku 波段卫星构成的空间网络部署, 目前已发射15颗, 可提供10—40 kbps 的数据传输服务; 瑞士 Astrocast 公司计划在2024年完成共100颗卫星的低轨星座, 届时自身星座的卫星重访时间将小于15 min, 目前已有10颗在轨运行; 澳大利亚 Fleet Space 公司计划发射140颗卫星, 已有6颗在轨运行; 荷兰 Hiber 卫星公司计划发射48颗卫星, 当前在轨运行24颗, 终端支持单次140个字符传输, 包括时间标记、识别、位置等信息; 加拿大 HeliosWire公司计划发射30颗卫星构建空间物联网, 利用S波段30 MHz 带宽, 可支持50亿个传感器, 目前已有5颗在轨。

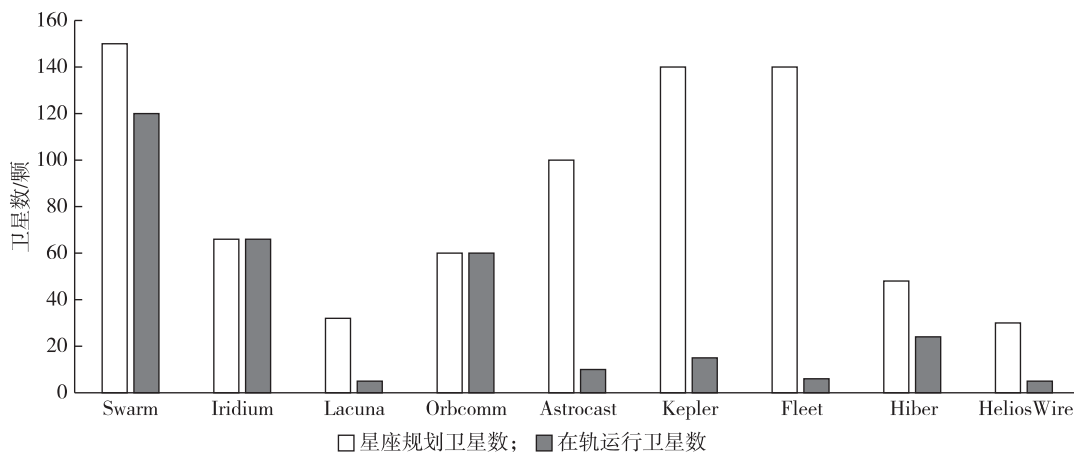


图6 国外低轨物联网星座部署统计

国内方面,科技部牵头的“天地一体化信息网络项目”是国家科技创新 2030 重大项目,是信息时代的战略性基础设施,能够实现国家利益到哪里,信息网络覆盖到哪里,满足应急救援等领域不断增长的网络信息需求。近几年,科研院所与民营企业纷纷进入低轨卫星物联网领域,随着“十四五”规划对天地一体化通信的投入增加,国内低轨卫星物联网也将在未来 5 a 取得更为迅速的发展。

与此同时,森林防火应急管理数字化建设逐渐深入,AI 智能判别、大数据及云计算技术纷纷落地应用,加上可靠的传输网络以及各类传感器终端规模化部署,共同形成了强大的火灾态势感知系统^[9]。物联网终端作为林火监测重要的动态信息来源,与广覆盖、低时延、低成本的低轨卫星链路的结合,成为必然趋势。

当然,低轨卫星物联网在规模化应用前也面临着互联互通方面的挑战:目前低轨卫星物联网各厂商使用的频率与通信协议各不相同,不同厂商的卫星与终端之间暂时无法直接互联互通,供应商“百花齐放”现象体现在芯片上则导致芯片的定制化更强,流片成本更高。在空间频率分配已定的前提下,低轨卫星供应商需要从行业要求和产业链角度着手,成立产业协会并推动形成技术标准,下一步的研究工作将集中在空中接口协议和终端产品化等方面。

7 结语

低轨卫星具有全天候、覆盖范围广、终端低功

耗、低成本等优点,适用于无地面网络覆盖区域的森林防火监测预警通信。随着“十四五”期间低轨星座的大规模规划建设,未来国内也将有多个低轨星座提供天基物联网服务,全球的卫星物联网产业将登上一个新的台阶,低轨卫星物联网技术在森林防火监测场景的应用潜力巨大。伴随着云计算和大数据等平台在行业内广泛应用,对物联网终端数据的精准、实时需求空前增加,低轨卫星物联网也将更高效地服务于森林防火通信领域。

参考文献:

- [1] 邱启敏,郑嫦娥,田野,等.基于多传感器融合的林火监测[J].安全与环境学报,2015,15(1):111-116.
- [2] 周宇飞,李小川,王振师.森林火灾扑救技术研究进展[J].广东林业科技,2013,29(5):53-58.
- [3] 周宇飞,王振师,李小川,等.多平台林火现场实时监测技术研究[J].广东林业科技,2012,28(5):51-56.
- [4] 张更新,揭晓,曲至诚.低轨卫星物联网的发展现状及面临的挑战[J].物联网学报,2017,1(3):6-9.
- [5] 沈俊,高卫斌,张更新.低轨卫星物联网的发展背景、业务特点和技术挑战[J].电信科学,2019(5):113-119.
- [6] BARMPOUTIS P, PAPAIOANNOU P, DIMITROPOULOS K, et al. A review on early forest fire detection systems using optical remote sensing[J].Sensors,2020,20(22):6442-6467.
- [7] 吴庭薇,谢继东,张更新.LoRa 调制在低轨卫星物联网下适应性研究[J].电视技术,2018,42(9):21-25.
- [8] 陶孝锋,李雄飞,翟继强,等.Orbcomm 星座卫星系统发展历程及其最新动态研究[J].空间电子技术,2015(2):29-36.
- [9] 湛佳军,杨春,王晴晴,等.基于物联网的森林火灾管理[J].电脑知识与技术,2019,15(3):5-36.