

Application of Polarized Synthetic Aperture Radar in Environmental Monitoring

Jinfeng Hou Jinyan Qu Hongzhi Li Yan Zhang

The 718th Research Institute of China State Shipbuilding Corporation Limited, Handan, Hebei, 056000, China

Abstract

With the rapid development of remote sensing technology, it has been widely used in environmental monitoring, which makes up for the limitations of traditional environmental monitoring methods. As one of the most advanced radar remote sensing technologies, it has the advantages of high resolution and full time. Therefore, this paper summarizes the important application value and wide application prospects in the environmental monitoring of ocean, agriculture, forest, and natural disasters.

Keywords

polarized synthetic aperture radar; environmental monitoring; development trend; application analysis

极化合成孔径雷达在环境监测中的应用

侯锦锋 曲尽妍 李洪智 张岩

中国船舶集团有限公司第七一八研究所, 中国·河北 邯郸 056000

摘要

随着遥感技术的高速发展, 在环境监测中逐渐得到广泛应用, 弥补了传统环境监测方法的局限性, 其中极化合成孔径雷达作为最先进的雷达遥感技术之一, 具有高分辨率、全时性等优点。因此, 论文概述了在海洋、农业、森林、自然灾害等环境监测中具有重要的应用价值和广泛的应用前景。

关键词

极化合成孔径雷达; 环境监测; 发展趋势; 应用分析

1 引言

随着社会进步与科学发展, 对生态环境的要求越来越高, 环境监测在保护环境、治理污染中发挥着重要作用。传统的人工监测手段通常具有很大的局限性: 人工布点不均匀、监测时空连续性差、监测成本高、数据获取频率低等^[1]。亟需新的技术手段建立更加完善、更加科学、更加准确的环境监测体系。结合国家科技发展趋势和环境监测手段的局限性, 遥感技术的兴起为环境监测带来新的应用前景。

极化合成孔径雷达 (polarimetric synthetic aperture radar, PolSAR) 是一种具有良好的穿透性和较高的分辨率的遥感技术, 相比于光学遥感能够避免受云、雾、霾等恶劣天气的影响, 同时具备全天候、全天时等优点, 是遥感领域最先进的雷达之一^[1]。中国于 2016 年 8 月 3 日发射了首颗民用高分辨全极化合成孔径雷达—高分三号 (GF-3) 卫星。随着 PolSAR 技术的日趋成熟, 该技术被广泛应用到海岸线轮廓监测、农作物生长监测、森林资源调查等生态环境领域^[2]。

【作者简介】侯锦锋 (1984—), 男, 中国陕西眉县人, 硕士, 工程师, 从事环境评价与监测研究。

2 PolSAR 技术概述

2.1 PolSAR 技术及发展趋势

雷达 (radio detection and ranging, radar) 是利用电磁波作为接收信号获取探测目标物信息的电子设备, 在军事和民事等领域已经得到广泛的应用。极化信息是雷达回波信号中不容忽视的一个重要数据, 也是平面电磁波的重要属性之一; 可以描述探测目标的几何特性、介电常数、粗糙度等重要信息^[3]。在 20 世纪 50 年代初, 极化信息开始得到利用, 人们逐渐意识到极化方式在雷达应用中的重要作用。近年来随着 PolSAR 的高速发展, 根据极化信号的处理方式, PolSAR^[4] 可以分为单波段单极化、多波段多极化以及全极化 (见表 1)。PolSAR 正朝着多波段、多极化、高分辨率、高穿透性的方向快速发展中。

2.2 PolSAR 在环境监测中的优势

2.2.1 监测灵活、范围广

遥感监测能够摆脱人工监测范围小的局限, 可以高效实现对大范围区域的监测。并且监测更加灵活, 在极端天气、地形恶劣等环境条件的限制下, 可以实现自动监测, 大大提高了环境监测的效率^[5]。

表 1 PolSAR 发展趋势

雷达	时间	波段	极化方式
Seasat-A (美国)	1978 年	L 波段	单极化 (HH)
NASA-JPL-AIRSAR (美国)	1985 年	L 波段	全极化 (HH、HV、VH、VV)
EMI-SAR (丹麦)	1986 年	L、C 波段	全极化 (HH、HV、VH、VV)
ERS-1/2 (欧洲)	1991-1994 年	C 波段	单极化 (VV)
ENVISAT (欧洲)	2002 年	C 波段	多极化 (HH、VV)
ALOS (日本)	2006 年	L 波段	全极化 (HH、HV、VH、VV)
TerraSAR-X (德国)	2007 年	X 波段	全极化 (HH、HV、VH、VV)
GF-3 (中国)	2016 年	C 波段	全极化 (HH、HV、VH、VV)

2.2.2 高穿透性和高分辨率

PolSAR 可以避免云、雾等天气的干扰,具有较高的穿透性和分辨率;经过处理后的图像更加清晰,边界分明,因此图像中包含的数据信息要优于光学遥感^[6]。

2.2.3 数据信息的精准度高

PolSAR 传感器更加先进,具有连续性、全时性和及时性,因此获取的数据信息精准度高。可以实现动态监测,在海洋、自然灾害等环境监测应用上更具优势^[7]。

3 PolSAR 在环境监测中的应用

3.1 PolSAR 在海洋生态环境监测中的应用

海岸线是海洋生态环境的重要组成部分,监测海岸线是保护海洋环境、发展沿海经济的重要保障。从 20 世纪 90 年代开始,中国部分地区无规划开发沿海资源,加之执法部门没有系统的管理体系、监管力度的不到位,使海岸线受到严重的破坏;对海岸线的恢复与监测迫在眉睫。海上溢油事件作为一种突发性的海洋环境污染事件,更加需要快速有效的监测手段,目前已有很多人使用 PolSAR^[8] 数据进行溢油研究,包括溢油图像绘制、溢油预警监测等。油表面的活性剂会降低水体表面的粗糙度,被油覆盖的海面和无油的海面会有明显粗糙度的差别。PolSAR 会根据目标物的后向散射信号 (back scattering, BS) 得到图像,由于 BS^[9] 对海面的粗糙度很敏感,当遇到因浮油等表面活性剂变平滑的海面,雷达反向散射会减少体现在图像上溢油区会有明显暗斑^[5,6]。利用 PolSAR 可以很好地识别和追踪海面油斑,有助于对突发的海面溢油污染事件快速做出判断。

3.2 PolSAR 在农业生态环境监测中的应用

目前的农业生态监测研究,主要以农作物的物理生物参数为主,如生物量、农田含水率、生长面积等。作物的生长会随着气候条件不断变化,研究作物的物候信息对指导农业管理、虫害防治方面具有重大意义,遥感技术为农作物候期识别主要因为其特征参数对水稻冠层的形态结构及含水量变化比较敏感。PolSAR 可以获得不同极化模式下水稻冠层的各种雷达响应特性,提供强度、相位等丰富的极化信息,还可以通过极化合成的方法得到任意极化组合下接受的

回波功率信息。作物不同时期的 BS 系数略有差异, L 波段比 C 波段对作物冠层响应更明显,作物的穗和 PolSAR 发射的 X 波段 BS 系数的相关性更高^[8]。Zhang^[9]使用双极化 (HH 和 VV) Radarsat-2 SAR 的数据,对中国辽阳市水稻进行估产,发现通过水稻穗长可以有效估算产量,且整体估计产量在实际合理范围内,除此之外通过 SAR 获取到更多水稻冠层的生物物理参数。

3.3 PolSAR 在森林生态环境监测中的应用

传统森林生物量的统计需要耗费大量的人力和财力,且数据误差较大。随着 PolSAR 技术的广泛应用,使森林生物量估算及树木种类识别有了更加高效的手段。极化信息对森林结构的变化较为敏感,树木的高度、生物量、面积均会对 BS 系数产生一定影响,其中受树高影响最大。不同树木种类的 BS 差异可达到 5dB,且不同波段的敏感性也不相同。例如, C 波段主要由冠层中树枝和树叶主导, L 和 P 波段主要是由树干和大枝主导引起的^[10]。土壤的含水量对森林生态系统尤为重要,是森林碳交换的重要影响因素。通过 SAR 监测土壤水分会受到植被密度和表面粗糙度的影响,行敏锋等结合 Radarsat-2 SAR 数据,利用随机森林反演发现,极化参数和 BS 系数可以应用于土壤水分反演,能够有效实现对土壤水分的监测和及时报告。

3.4 PolSAR 在自然灾害环境监测中的应用

灾害频发的区域通常气候恶劣、地势复杂或者植被丰富具有隐蔽性,不利于人工监测工作的展开。PolSAR 具有高穿透性和动态监测等特点,使其在自然灾害频发的山区、高原等特殊环境监测中具有显著优势。SAR 电磁信号的不间断发射,可以实现对灾害地点的长时序的监测。通过 SAR 数据中的 BS 系数提取表面纹理、粗糙度、坡度以及灰度等特征参数,处理后得到山体坡度的变化、冰川的运动速度、水体覆盖面积等信息,可以有效识别山体滑坡、冰川迁移和洪涝等自然灾害,实现对自然灾害的预警并及时做出危害评价。

InSAR 可以大范围连续监测“微小”地表变形情况,已经成为识别山体滑坡潜在可能的重要技术工具,张雄伟^[11]通过 InSAR 监测数据,对公路地质灾害构建大数据监测预警系统,经过现场巡查结果对比验证了 InSAR 监测具有可

行性和准确性。发生自然灾害前后的 SAR 图像对比,对灾情信息的及时获取也很大帮助。吕素娜^[12]等利用哨兵一号(Sentinel-1)卫星,对比洪涝发生前后一天的图像,通过波段运算得到差异图,再进行阈值分割后获得淹水信息;及时获取了鄱阳湖及周围水域的受灾面积,清晰识别溃堤决口,为应急管理部门提供实时灾情监测^[13]。

4 结语

综上所述, PolSAR 作为一种先进的雷达遥感技术,在海洋、农业、森林等生态系统和自然灾害环境监测中得到了广泛的应用,使监测变得更加高效、更加准确、更加及时。在中国环境问题依然严峻的背景下, PolSAR^[14]技术的高速发展和在环境监测中的应用前景,为环保事业提供了技术支持。

参考文献

- [1] 张鑫.遥感技术在生态环境监测中的应用研究[J].皮革制作与环保科技,2021,2(24):78-80.
- [2] Bell J, Gebremichael E, Molthan A, et al. Synthetic Aperture Radar and Optical Remote Sensing of Crop Damage Attributed to Severe Weather in the Central United States[C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). IEEE, 2019. Dari J, P Quintana-Seguí, Escorihuela M J, et al. Detecting and mapping irrigated areas in a Mediterranean environment by using remote sensing soil moisture and a land surface model[J]. Journal of Hydrology, 2021, 596(7369):126129.
- [3] 李宏宇.基于全极化SAR的植被监测研究[D].北京:中国地质大学,2019.
- [4] Quang N H, Takewaka S. Land subsidence and its effects on coastal erosion in the Nam Dinh Coast (Vietnam)[J]. Continental Shelf Research, 2020, 207(1): 104227.
- [5] 陈韩,谢涛,方贺,等.基于SAR极化比和纹理特征的海面溢油识别方法[J].海洋学报,2019,41(9):181-190.
- [6] 章焱,宋莎莎,赵宇鹏,等.基于SAR卫星遥感的溢油自动识别和预警业务化系统研发与应用[J].海洋湖沼通报,2017,4(2):81-88.
- [7] 范惠芳,吕沛诚,王品,等.基于遥感数据的杭嘉湖平原水稻物候变化特征研究[J].杭州师范大学学报(自然科学版),2019,18(6): 636-641.
- [8] Chao Z, Liu N, Zhang P, et al. Estimation methods developing with remote sensing information for energy crop biomass: A comparative review[J]. Biomass & bioenergy, 2019, 122(3): 414-425.
- [9] Zhang Y, Yang B, Liu X H, et al. Estimation of rice grain yield from dual-polarization Radarsat-2 SAR data by integrating a rice canopy scattering model and a genetic algorithm[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2017(57): 75-85.
- [10] 姬永杰,张王菲.森林地上生物量合成孔径雷达技术反演研究综述[J].世界林业研究,2022,35(3):32-39.
- [11] 行敏锋,林清梅,陈林.基于随机森林的极化SAR土壤水分反演及应用[J].文山学院学报,2022,35(2):40-44.
- [12] 张勤,赵超英,陈雪蓉.多源遥感地质灾害早期识别技术进展与发展趋势[J].测绘学报,2022,51(6):885-896.
- [13] 张雄伟.基于InSAR技术的高海拔多雨山区公路地质灾害监测预警研究[D].西安:长安大学,2021.
- [14] 吕素娜,薛思涵,谢婷,等.哨兵一号SAR数据在鄱阳湖洪涝灾害监测中的应用[J].卫星应用,2021(8):51-55.