

SAR 技术与无人机雷达技术的优势比较

王立军

河北省地质矿产勘查开发局第二地质大队(河北省矿山环境修复治理技术中心)

DOI:10.12238/gmsm.v7i6.1869

[摘要] 本文拟对比SAR和无人机雷达在大范围形变监测方面的优势和各自的特性。通过对这两种方法的原理、监测能力、数据处理和实践案例的比较,对其优缺点进行分析,为有关部门在监测方法的选取上提供科学依据。

[关键词] 合成孔径雷达(SAR); 无人机雷达; 大区域变形监测; 高分辨率成像; 实时性; 穿透性
中图分类号: V279+.2 **文献标识码:** A

Comparison of the advantages between SAR technology and UAV radar technology

Lijun Wang

The Second Geological Team of Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development(Hebei Mining Environment Remediation Technology Center)

[Abstract] This paper intends to compare the advantages and characteristics of SAR and uav radar in large-scale deformation monitoring. Through the comparison of the principles, monitoring capacity, data processing and practice cases of these two methods, their advantages and disadvantages are analyzed, so as to provide a scientific basis for the relevant departments in the selection of monitoring methods.

[Key words] synthetic aperture radar (SAR); UAV radar; large area deformation monitoring; high resolution imaging; real-time and penetration

引言

大范围形变监测是地质、工程和环境研究中的一项重大课题,是防灾减灾和保障工程安全的重要手段。随着科学技术的发展,合成孔径雷达(SAR)和无人机雷达由于各自的优点,已被广泛用于大范围形变监测。文章从不同的角度对二者的优缺点进行了分析,希望能在实践中起到一定的借鉴作用。

1 技术原理

1.1 SAR技术

(1)原理:合成孔径雷达(SAR)是一种以电磁波为基础的先进遥感手段,该系统通过收发雷达波束来准确检测和成像地面目标。第一,雷达光束在穿过大气层后到达地面后,会产生一种反射。第二,通过接收机对反射回来的信号进行处理,可以重构出高分辨的图像,使之无需在地面上安装雷达装置,就可以获得地表特征、地形地貌等有关信息。第三,采用一种特殊的综合孔径理论,使科研人员可以将不同角度回波数据进行融合,从而得到更为丰富、细致的地表场景图像。SAR影像在测绘、环境监测、灾情评估等方面有着广泛的应用前景。

(2)特性:合成孔径雷达是一种具有全天候、全天候监测功能的高精度成像系统。其中包含的InSAR技术能提供非常高的影像解析度,让每个细节都能清楚地呈现出来,并且其穿透能力也

十分惊人,哪怕是在植被茂密、云雾遮挡的情况下,仍能有效地穿透障碍物,实现对地表和水体的精确、精细监控。同时,InSAR可以持续监测,其雷达每隔一段时间就对同一类物体实施周期性或非周期性的长时段观测,具有快速更新、能实时监控地表连续形变的特点。另外费用还比较低廉,而且资料的花费也比较少。该特性大大增强了SAR在复杂环境中的适用能力,是当前遥感研究中不可缺少的一种重要手段。

1.2 无人机雷达

(1)原理:无人机雷达是利用无人飞行器搭载雷达,通过特殊的雷达波束来实现对大面积目标的精确、全方位扫描。在此过程中,雷达接收机持续接收被目标物所反射的电磁波,然后将其转化为影像资料。由于具有高度的机动性,因此,无人机雷达可以在较短的时间内对目标进行有效的覆盖,并对目标进行成像。无人机可以在复杂的地形和环境中穿行,迅速抵达常规雷达无法覆盖的区域,极大提高了影像搜集和数据采集的效率与覆盖范围。

(2)特点:无人机雷达具有机动灵活、反应迅速和监控范围可控等优点。它可以在复杂的地形条件下快速地进行航向与定位,以保证在最短的时间内得到需要的信息。同时,该系统具有快速反应的功能,能够更好地应对突发事件,特别是在突发事件

中能够为用户提供重要的技术支撑。就其中的无人机激光雷达分析而言:第一高精度:Lidar可以获得较高的三维空间信息,特别适用于复杂地形的监控;第二机动性好:能够灵活地调节飞行高度、路径,在一定范围内进行精细化监控;第三极强的穿透性:激光束可透过一定范围内的植物、云雾等,获得较为真实的地面资料;第四强大的资料处理功能:利用高级运算法则及资料处理技巧,可迅速产生高精度的三维地貌模型。

虽然无人机雷达具有以上诸多优点,但其成像质量仍受诸多因素的制约。由于上述各方面的不确定性,会造成成像效果的偏差,有时还会造成模糊、畸变等现象,进而影响到数据的精度与可靠性。所以,要使雷达的整体性能达到最优,就需要对其进行精密控制,并设计相应的算法。

2 监测能力

2.1 SAR技术

(1)分辨率:SAR在形变监测方面具有突出的优势,可将监测精度提升到毫米甚至亚毫米,其精度对获取微小形变具有重要意义。对于微小的移动或者形变,SAR具有非常高的灵敏度,非常适合用来捕获这种动态变化。

(2)覆盖范围:合成孔径雷达(SAR)可以安装在不同的载体上,比如卫星,直升机,或者固定平台,可以覆盖很大的范围。这一特点使SAR能够满足复杂地形条件下的大尺度遥感监测需要^[1]。

(3)实时性:SAR技术可以实时监控地表及其他地质构造体的形变情况,并能快速发现可能存在的形变异常。实时处理技术的优点是,可以让工程技术人员和科研人员对紧急情况作出反应,以便采取必要的防范行动,防止灾害。实际应用时,SAR通过连续实时的数据传输,为滑坡、地震等自然灾害的实时监测与响应提供了强有力的技术支撑。

2.2 无人机雷达

(1)分辨率:不同的飞行环境中,特别是在高速、高海拔环境下,无人飞行器上的雷达可实现分米级到米量级的分辨,使无人机雷达在测绘和监测等方面具有广阔的应用前景。但是,随着分辨率的提高,系统的运行成本和运行复杂度也随之提高,进而对系统的硬件投资及分析过程提出了更高的要求。

(2)覆盖范围:无人机雷达由于其灵活的移动能力,能够迅速地对某一地域进行覆盖。它不会受到地面交通和地形阻碍的影响,并能从空中对大范围地区进行详细的数据采集。然而,每次飞行的范围都是有限制的,所以对于要求进行长期持续观察的任务而言不太适用。

(3)实时性:飞行期间,雷达能够对各种测量结果进行实时采集,并向地面指挥中心传送。这就意味着,在一些特定的环境中,比如应急救援中,无人机雷达系统能够立即提供现场的实际情况,从而做出更科学的决策。

虽然无人机雷达具有优异的性能,但是与SAR系统相比,其在数据处理与传输上仍有较大差距。与之形成鲜明对比的是,

合成孔径雷达在获取图像方面具有较大的速度优势,而无人机雷达在数据的实时处理与传输方面稍有滞后。但是,随着科技的发展,无人机系统的实时处理能力也在逐渐提升,可望在将来的某一特定领域中得到更广泛的应用。

3 数据处理

3.1 SAR技术

(1)处理复杂度:SAR影像数据的处理难度较大,对准确的软件开发与技术支撑提出了更高的要求。改进过程中,研究人员面临着许多技术难题,比如相位解缠,它需要精确地从已有的数据中得到精确的相位值,其中滤波过程就是消除噪音,使图像具有较高的清晰度;而配准就是保证SAR影像在多个时刻、多个角度上都能准确地对齐与匹配。以上步骤均是保证SAR影像资料品质的关键。

(2)自动化程度:随着计算机视觉和机器学习等学科的飞速发展,SAR影像数据处理逐渐走向自动化。自动控制系统能更好的完成重复的工作,减少人力的工作量,而引入了先进的SAR图像处理方法,能够有效提高SAR资料的处理效率以及精度。比如,利用深度学习对物体进行自动识别,降低人为干预的需求,使得整个过程的效率得到明显提升。另外,该系统具有自主学习、对新环境的适应性,从而提高了系统的精度和可靠性^[2]。所以,该方法的实现,不但简化了数据采集过程,而且为SAR数据处理带来了更大的发展空间。

3.2 无人机雷达

(1)处理复杂度:就处理复杂性而言,无人机雷达数据的处理过程比较直观、简单。该方法的核心是对采集到的多张雷达影像进行高效的拼接,并剔除可能存在的离群数据。虽然步骤简单,但是在实践中却需要操作人员有较高的技能水平和判断能力,才能保证所得到的结果符合设计要求。

(2)自动化程度:在自动化水平上,无人机雷达数据的处理可以达到某种程度的自动化,但是这些自动化通常局限于一些基本的功能。为了达到全面的自动化,相关人员也必须发展出更先进的运算法则,以应对更先进的雷达资料分析工作。然而,由于一个自动化的系统不一定能够发现所有的潜在问题,或是在一些特定的案例中,人为的决策能够提高安全性和准确性,所以即使高度自动化,仍需人为介入才能保证数据的高精度、高可靠性。

4 实际应用案例

4.1 SAR技术

(1)滑坡监测:近几年来,滑坡监测技术取得了长足的进步,特别是对遥感图像的分析。雷达干涉法(SAR)可对滑坡体进行实时形变监测。该技术能够准确地捕获影像中细微的变形,从而为防灾减灾提供有价值的资料。其中,在大区域开展的山体滑坡监测工程中,大部分工作人员是将合成孔径雷达技术应用于滑坡监测中。通过应用研究,可以实现对多个潜在滑坡的精确识别,并对其预警,有效降低滑坡所造成的生命和财产损失^[3]。在此基础上,建立起一套准确、快速的预警系统,使地方政府及有

关部门能够及时、有效地预防和处理滑坡灾害,从而使灾害损失降到最低。

(2) 矿山边坡监测: 矿山边坡监测具有不可忽视的重要作用, SAR在其中发挥了重要作用, 其能够通过对矿区边坡进行综合、精细评价, 为及时、有效地防治边坡灾害提供科学基础与决策支撑。一方面, 对边坡的实时动态变化进行连续的监测, 可以早期发现可能存在的细微裂纹、不稳定迹象或整个结构存在的隐患, 从而保证矿山的正常运行。另一方面, 对矿山进行监控, 可以使矿山管理人员有针对性地制订维修方案, 预防由于疏忽大意而导致的意外事故, 降低财产损失, 保障职工的人身安全。

4.2 无人机雷达

(1) 灾后评估: 在自然灾害发生后, 迅速而准确地评估受灾区域的情况至关重要。这不仅是确保救灾工作高效进行的基础, 也是灾后重建工作能够顺利启动和持续进行的前提条件。无人机雷达技术的发展为这一过程提供了新的解决方案。

第一, 通过搭载高性能雷达系统的无人机, 可以在极短的时间内到达灾害现场上空, 并对受灾地区进行低空高分辨率扫描, 使得科研人员能够获得关于灾情的详细信息, 包括但不限于建筑物的损毁程度、道路桥梁的损伤状况以及植被、土壤的变化等。

第二, 本次研究成果对于未来可能发生的类似灾害有着极其重要的参考价值, 它将为救援队伍提供科学的决策依据, 同时也为震后重建规划提供详实的数据支持。特别值得一提的是, 无人机上配备的高精度红外热像仪能够对受损害的建筑、道路、桥梁等关键设施进行细致的影像采集, 并且其精确度和速度远超传统相机, 因此在获取灾区地形和建筑结构信息方面具有无可比拟的优势。

第三, 借助这种先进的遥感技术手段, 相关部门和机构能够在最短的时间内更新灾后地图, 实现对灾区状况的精确测量, 不仅大大提高了救援效率, 还有助于减少资源浪费和不必要物资的投入。更为重要的是, 这样的遥感手段能够确保救灾援助工作更加精准有效, 避免了对非急需或重复建设的投资^[4]。

(2) 环境监测: 随着环境监测技术的不断发展, 无人机雷达技术可以极大地提升突发事件的应对能力, 在林火的早期预警与扑救、水体污染程度的准确测定等方面发挥了重要作用, 保障环境质量的稳定与持续发展。由专门的无人机编队执行常规飞行任务, 能够不断地追踪和分析环境状态, 为有关部门提供数据

支撑, 使其更准确地进行决策。

5 结语

目前, SAR技术和无人机雷达技术已被广泛用于各个行业。SAR作为一种极具潜力的高分辨成像技术, 不但可以实现全天候、全天候的观测, 还可以穿透云层、冰雪等恶劣气象环境, 在山体滑坡、矿山开采等复杂地质环境中, SAR是一种不可缺少的监测方法。同时, SAR还可以对地表运动进行精细跟踪, 为滑坡预警、资源开发风险评价和地质构造改变等研究提供精准的数据支持。

相比之下, 无人驾驶雷达由于其机动灵活、可遥控等特点, 可以实现对目标的快速部署与监控。无人驾驶飞机可以轻易进入不易抵达或危险区域进行监控, 大大提升监控效能。此外, 该雷达具有探测范围大、不受限于地形等特点, 并可搭载多光谱相机和激光测距仪等多个传感器, 从而获得更多的探测信息。因此, 无人机雷达技术在灾后重建、生态环境监测、城市规划等方面具有重要意义。

但具体采用何种方法, 则要视具体情况和实际需要而定。例如, 在应急事件中, 要求实时反馈, 及时作出反应, 故此要求UAV快速部署和大范围监控计划。但在对资料质量要求较高, 需要长时间、连续观测的场合, SAR具有更强的优越性。在此背景下, 从监测对象的性质、时间的紧急性和资源的性价比等方面, 谨慎地选取适宜的监测方法, 是保证监测效果的关键。只有选择合适的工艺, 才能使其各自的优点得到最大程度的发挥, 才能对大面积变形进行全面有效的监测。

[参考文献]

[1] 杜兴旺. 小型无人机载SAR成像及图像预处理方法研究[D]. 重庆市, 2024.

[2] 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所. 基于无人机可见光视频与SAR图像联合的车辆检测方法: CN118429914A [P/OL]. 2024-08-02.

[3] 杨小鸽. InSAR大尺度变形监测关键方法研究[D]. 广东省, 2023.

[4] 杨小鹏, 马忠杰. 基于遗传算法的无人机载穿墙三维SAR航迹规划方法[J]. 雷达学报(中英文), 2024, 13(04): 731-746.

作者简介:

王立军(1987--), 男, 汉族, 河北省唐山市人, 大学本科, 测绘高级工程师, 从事基础测绘、工程测量工作。