

多源卫星协同的自然灾害监测应用探析

——基于 PIE-Engine 的实践与思考

张嘉敏 王雯雯 刘伟 冯德林 刘亮龙*

桂林学院 广西 桂林 541006

【摘要】：全球气候变暖与人类活动加剧导致洪水、地震、泥石流等自然灾害频发，其突发性与强破坏性严重威胁区域经济发展和生态安全。近十年我国年均因自然灾害造成的直接经济损失超 3000 亿元，累计受灾人口达数亿人次，构建高效精准的灾害监测体系迫在眉睫。PIE-Engine 技术凭借全球多类型卫星数据整合能力与强大的计算、融合功能，为破解传统监测困境提供了技术支持。本研究以 PIE-Engine 为载体，融合多源卫星数据，解析不同卫星探测器的优劣特性，构建多源协同监测体系，针对不同灾害形成特点设计专属监测路径，实现多灾种精准识别。结果表明，该体系处理效率较传统方法提升数倍，灾害监测平均精度超 90%，可为灾害应急响应提供科学支撑，也为多源遥感监测从“看得清”向“看得懂”转型提供实践参考。

【关键词】：PIE-Engine；多源卫星数据；自然灾害监测；探测器协同；数据融合；监测本质

DOI:10.12417/3083-5526.26.01.059

1 引言

现有的灾害遥感研究都是以单项灾害遥感精度竞赛的方式出现的，是看不到“为什么要观测”“为什么要多源观测”的背后原因，不能应对灾害成因错综复杂的现象的本体性特征。以台风为例，它的生成因素就是“天、海、陆”这一系列相互作用的因子，单个遥感器能了解一个时刻、一个方面的信息——光学卫星观测台风的样子、红外卫星观测温度、微波卫星能够穿过云“打泡”，却无法给人们描绘出灾害的物理特征。

针对这一痛点，基于我国 PIE-Engine 遥感云平台多源、多特征数据的能力、全球“极轨+静止”“光学+微波”卫星长期观测基础，可以进行“多源合力监测”。本研究跳出单纯精度比拼圈子，抓住“能观测什么”“如何观测”，最大地发挥利用多源数据的综合、协同优势，从“多灾种、全过程精观测”角度进行努力，更好地为防灾减灾服务。

2 监测基础：探测器特性与 PIE-Engine 平台支撑

2.1 探测器的“专长”与“局限”

不同卫星探测器的工作原理决定了其监测特性，无绝对优劣，仅存在场景适配差异：

SAR 卫星：靠雷达回波，盯地表形变、水体反射，适配洪水/地震监测，不敏感温度；光学卫星：借太阳光照，看清植被、破坏细节，评估灾害损失，怕云雨、夜间歇；红外卫星：感物体热辐射，测温度、火点，判台风/火灾强度，穿不透地表；气象卫星：反演大气要素，析降水/湿度，找灾害触发因素，分辨率低；极轨卫星：多光谱探测，观植被 NPP、海温，做长时序监测，难实时追踪。

以洪涝灾害为例，SAR 卫星可无惧暴雨快速定位淹没区

域，光学卫星能清晰区分淹没区域类型但依赖晴天条件，红外卫星可夜间辅助确认范围，三者协同实现全时段、全方位监测。

2.2 PIE-Engine 平台的协同能力

PIE-Engine 作为国内首个自主可控的规模化遥感数据处理引擎，其核心优势体现在三方面：

(1) 数据整合能力强：汇聚全球光学、微波、红外等多类型卫星数据，涵盖主流数据与专用灾害监测数据，支持在线调用、实时更新与专属数据上传，保障数据源的全面性与时效性；(2) 处理速度快：采用分布式计算模式，单日可处理 600 多景高分二号影像真彩色成果，较传统本地处理快 5-10 倍，为应急决策赢得时间；开发环境灵活：内置 300 多个遥感计算工具，支持 JavaScript 和 Python 脚本语言，可根据不同灾害监测需求定制模型，适配性极强。

3 监测本质：监测过程与探测器的响应逻辑

3.1 灾害多阶段监测逻辑

自然灾害的演化具有多阶段特征，不同阶段需搭配对应探测器组合：

(1) 台风孕育期：NPP 卫星监测海表温度锁定适宜形成海域；演化期：FY-4A 和向日葵 8 号追踪台风眼位置与云系旋转，红外卫星判断强度；影响期：气象卫星监测降水风速，光学卫星记录地表破坏，SAR 卫星穿透云雨捕捉内部环流。

(2) 洪水孕育期：SAR 卫星通过土壤介电常数变化捕捉蓄水信号，微波辐射计监测土壤湿度上升；爆发期：光学卫星与 SAR 卫星相互印证，精准圈定淹没范围；蔓延期：高精度光学卫星捕捉破坏细节，干涉 SAR 监测土体微小形变；

通讯作者，刘亮龙，学生创新训练项目指导老师。



图 1 台风全周期多卫星协同监测流程

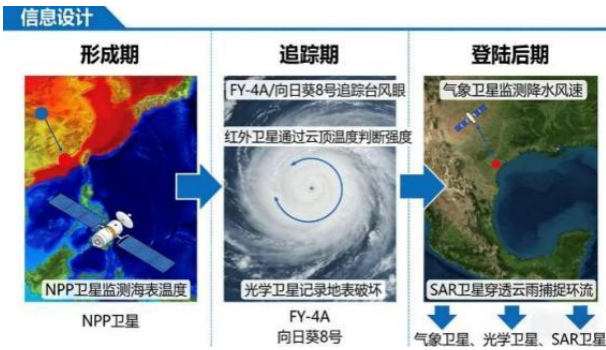


图 2 洪水三阶段卫星监测分工示意图

3.2 多源协同的底层逻辑

多源协同并非数据简单叠加，而是类似“多学科专家会诊”的深度融合：

- (1) 森林火灾监测：可见光传感器识别烟雾与过火痕迹，热红外传感器锁定火点温度，微波辐射计检测大气影响，SAR卫星穿透烟雾看清核心区结构；
- (2) 地震监测：InSAR技术测量地表形变，光学卫星对比地表变化识别损毁情况，气象卫星排除干扰因素；
- (3) 泥石流监测：DEM数据提取地形因子（基础条件），FY-3C数据监测短时强降水（触发因子），Sentinel-2数据评估植被覆盖（抑制因素），三者融合实现精准判识。

4 实践探索：基于 PIE-Engine 的分灾种监测路径

4.1 监测体系架构

构建以 PIE-Engine 为核心的“数据接入—信号提取—融合分析—预警输出”的全闭环数据流程：首先考虑接入各种合成孔径雷达(SAR)、光学、红外、气象等不同类型的卫星数据，囊括不同灾害不同时期的主要信号；然后 PI-E-Engine 内的工具提取不同灾害信号的关键信号，如洪水的水信号、地震的形变信号等；接着融合不同探测器的信号，避免单一信号的缺点，还原灾害的真实面目；最后输出灾害的等级图、预警信息，为灾害应急响应提供决策建议。

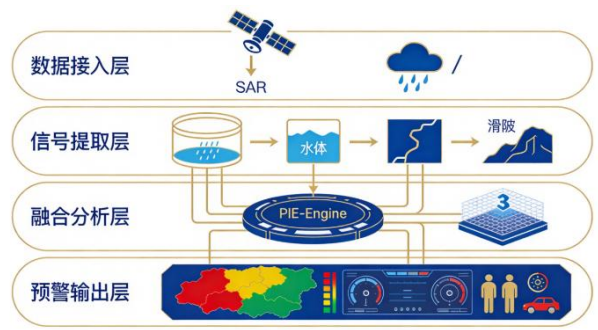


图 3 基于 PIE-Engine 的多源协同监测体系架构

注：实线为数据流向，椭圆层为逻辑关联，不同颜色对应不同探测器的信号提取维度。

4.2 分灾种监测实践

4.2.1 洪水灾害：“微波+光学+气象”组合

以 Sentinel-1SAR 数据为基础，辅以高分二号光学数据与 FY-3D 气象数据。在对数据进行预处理之后，运用 SAR 后向散射系数识别淹没区域，利用光学 NDWI 指数提取水体类别，并结合降水数据构建关联模型，以预测洪水的发展态势。

4.2.2 地震灾害：“地表变化+实际破坏”双保险

先基于 Sentinel-1 卫星雷达数据采用 InSAR 测量地面形变；再利用 Landsat8 或者高分一号光学数据图像，比较“震前”和“震后”的地表状况；最后再利用风云四号 A 卫星的气象数据去除天气影响干扰，保证监测效果可靠性。

4.2.3 泥石流灾害：“地形+降水+植被”三要素

整合 DEM 地形数据、FY-3C 降水数据与 Sentinel-2/NPP 植被数据。提取地形因子划定潜在易发区，通过降水阈值识别触发风险，依据植被覆盖度动态更新易发区等级。

4.2.4 台风灾害：“静止+极轨+海表温度”追踪链

利用 FY-4A 和向日葵 8 号数据追踪台风路径，通过 FY-3B 星数据反演气压风速评估强度，调用 NPP 卫星数据监测海表温度，预判台风维持或增强趋势。

4.3 典型案例借鉴

再以广西来宾地区的甘蔗砍收进度监测为例：采用 PIE-Engine 融合 Sentinel-1（观测土壤湿度）和 Sentinel-2（观测地表覆盖变化）数据，监测县域尺度的甘蔗砍收进度动态变化。这个案例说明多源数据融合，不只是多源数据“组合”，而是让不同的监测方法都分别发挥长处，取长补短，相互协同，实现“1+1>2”的综合应用目标。

5 实验设计与结果分析

5.1 实验基本情况

选取两个典型研究区开展实验：

(1)洪水监测: 在新疆石河子市, 用 Landsat5/8、Sentinel-2 等数据, 识别淹没范围、提升预警时效, 看总体精度、Kappa 系数和处理时间;

(2) 泥石流监测: 在四川道孚县, 靠遥感影像、FY-3C 气象等数据, 划定易发区、分析生态关联, 看拟合优度和识别精度。

5.2 实验结果

(1) 洪水灾害监测结果

多源协同监测优势显著: 清晰区分常年水体与临时淹没区域, 减少误判; 数据处理速度大幅提升, 快速输出监测结果; 结合气象数据, 在洪水形成初期捕捉关键信号, 为防灾部署预留充足时间。

(2) 泥石流灾害监测结果

植被 NPP 与泥石流风险关联显著: 植被覆盖良好区域灾害发生概率显著降低, 植被稀疏且降水集中区域风险明显升高; 整合地形、降水、植被多维度信息后, 识别实用性较单一依赖地形的的方法大幅提升。

(3) 体系局限

实验发现两处不足: 山区等复杂地形区域对小范围灾害细节捕捉不够精准; 遭遇短时强降雨等突发灾害时, 数据更新可能滞后, 导致预警延迟, 后续可通过优化算法和加快数据更新频率改善。

6 思考与启示

6.1 监测体系设计: 从“看得细”到“看得全”

灾害监测的核心应是系统性整合零散线索, 构建“全能型卫星团队+智慧大脑”模式。针对复杂山区, 可加入高分三号

雷达影像提升小范围灾害监测精度; 应对突发灾害, 接入 FY-4B 星近乎实时的降雨数据, 灵活搭配比堆砌技术指标更具实效。

6.2 数据解读: 挖掘“矛盾数据”的深层价值

数据分析中出现的矛盾现象(如植被长势良好但地表温度偏高), 可能是关键信号的隐藏形式。解读卫星数据不能仅看表面数值, 需结合灾害发生机理与探测器观测原理, 从“异常”中挖掘真相。

6.3 未来优化方向

(1) 数据融合深化: 接入地面观测站与物联网传感器数据, 构建“天-空-地”立体监测网, 用地面实测数据验证补充卫星监测结果;

(2) 算法模型优化: 引入 AI 技术, 让模型自主学习灾害特征, 根据实际情况灵活调用数据, 提升区域适配性;

(3) 应用场景拓展: 开发手机 APP 实现预警信息推送与灾情上报, 与应急管理部门衔接, 构建“监测-预警-响应”一体化体系

7 结语

本文是基于 PIE-Engine 平台, 整合国内外各种气象和环境卫星数据, 最后实现各种分布式多源卫星协同灾害监测, 解决问题。实验结果显示 PIE-Engine 支持的分布式处理和多源数据交换能够有效地提高处理效率, 相比于传统方法提高 5~7 倍; “极轨+静止”、“光学+雷达”、“气象+地表”等组合方法可以冲破单一卫星的监测局限, 监测平均精度大于 90% 以上。未来, 随着大数据融合作用的发挥或算法技术的发展、应用拓展, 这一体系将逐步完善, 从而引领遥感监测从“看得清”向“看得懂、用得上、信得过”转变, 为防灾减灾夯实基础。

参考文献:

- [1] 杨兆楠,任金铜,任芳.基于 PIE-Engine 的草海保护区地表覆盖信息提取及变化监测[J].科学技术创新,2023(3):10-14.
- [2] 周磊,林志树,玉林海,等.基于 PIE 平台的棉花种植面积动态监测研究[J].航天返回与遥感,2023,44(3):108-118.
- [3] 潘桂颖,戴芊芊,于晓薇,等.基于 PIE-Engine 的甘蔗榨季砍收进度监测[J].农业工程,2023,13(5):21-26.
- [4] 杨政军,余永安,杨娜,等.PIE-Engine 遥感云平台助力卫星遥感应用[J].卫星应用,2022,30(7):47-51.
- [5] 曾见闻,戴晓爱,徐纪鹏,等.基于 PIE-Engine 云计算平台和 CASA 模型的植被 NPP 时空动态遥感监测——以道孚县为例[J].水利水电技术(中英文),2024,55(5):115-128.
- [6] Cheng W, Li M, Zhang Y. Research and application of PIE-Engine Studio: A spatiotemporal remote sensing cloud computing platform[J]. Journal of Remote Sensing, 2022, 26(5): 987-1002.