



“哨兵”系列卫星数据 在洪涝灾害监测中的应用

文 | 李小涛¹ 湛南渝^{1,2} 路京选¹ 李琳¹ 曲伟¹ 雷添杰¹

1. 水利部防汛抗旱减灾工程技术研究中心 / 中国水利水电科学研究院 2. 电子科技大学

一、引言

洪水灾害是发生频率比较高的自然灾害，给人们的生命和财产安全带来了严重的损害。以 2018 年为例，我国共出现 39 次强降水天气过程，全国 3526.2 万人次受灾，直接经济损失 1060.5 亿元^[1]。作为非工程措施的遥感技术手段在近年来的重大洪涝灾害事件处理中发挥了重要的作用。实时高效的遥感数据获取是洪涝灾害遥感监测的前提和保障。

“哨兵”（Sentinel）系列卫星由欧洲航天局（ESA）研制发射，其观测目标涉及大气、陆地和海洋等，研究其在洪涝灾害监测中的应用对于我国的洪涝灾害遥感监测具有重要的意义。

二、“哨兵”系列卫星数据介绍

“哨兵”系列卫星是欧洲“哥白尼”（Copernicus）计划空间部分（GSC）的专用卫星系列，目前共有

国家重点研发计划课题：“一带一路”重特大气象水文灾害协同监测应急响应示范（2017YFB0504105）。

7 颗卫星 (Sentinel-1A/B, Sentinel-2A/B, Sentinel-3A/B, Sentinel-5P) 发射成功后在轨运行。欧洲航天局目前已经免费公开了 Sentinel-1—3 的数据。^[2]

1. Sentinel-1 卫星

Sentinel-1 卫星是高分辨率合成孔径雷达卫星 (C 频段), 由两颗卫星组成 (1A 卫星 2014 年成功发射, 1B 卫星 2016 年成功发射), 采用太阳同步轨道, 轨道高度 693km, 轨道周期 99min, 重访周期 12 天。中心频率为 5.405GHz, 带宽 0 ~ 100MHz, 有 4 种成像模式: 条带模式 (SM)、干涉测量宽幅模式 (IW)、超宽幅模式 (EWS)、波模式 (WV)。

2. Sentinel-2 卫星

Sentinel-2 卫星是高分辨率多光谱成像卫星, 由两颗卫星组成 (2A 卫星 2015 年成功发射, 2B 卫星 2017 年成功发射), 主要用于包括陆地植被、土壤以及水资源、内河水道和沿海区在内的全球陆地观测。该卫星具有高分辨率和高重访率。主要有效载荷是多光谱成像仪 (MSI), 工作谱段为可见光、近红外和短波红外, 地面分辨率分别为 10m、20m 和 60m, 多光谱图像的幅宽为 290km, 每 10 天更新一次全球陆地表面成像数据, 每个轨道周期的平均观测时间为 16.3min, 峰值为 31min。

3. Sentinel-3 卫星

Sentinel-3 是一个极轨、多传感器卫星, 搭载的传感器主要包括光学仪器和地形学仪器, 光学仪器包括海洋和陆地彩色成像光谱仪 (OLCI)、海洋和陆地表面温度辐射计 (SLSTR); 地形学仪器包括合成孔径雷达高度计 (SRAL)、微波辐射计 (MWR) 和精确定轨 (POD) 系统。Sentinel-3A 卫星和 Sentinel-3B 卫星 分别于 2015 年和 2017 年成功发射, 能够实现海洋重访周期小于 3.8 天, 陆地重访周期小于 1.4 天。Sentinel-3 卫星主要用于高精度测量海面地形、海面和地表温度、

海洋水色和土壤特性测量, 还支持海洋预报系统及环境与气候监测^[3]。

三、面向洪涝监测业务的“哨兵”数据特点分析

1. 多星协同, 观测频次高

以 Sentinel-1 和 Sentinel-2 数据为例, Sentinel-1A 和 Sentinel-1B 两颗雷达卫星同时运行, 对同一地区的观测效率为 6 天。而 Sentinel-2A 和 2B, 同时运行重访周期小于 5 天。因此, Sentinel-1 和 Sentinel-2 协同观测, 可以获取大范围、高重访周期的数据。这些高分辨率观测数据, 可提供洪涝灾害整个过程的灾情监测信息。

2. 幅宽大, 空间分辨率高

Sentinel-1 卫星有多种成像模式, 空间分辨率最高可达 5m, 影像幅宽 400km。Sentinel-2A 卫星携带一枚多光谱成像仪, 可覆盖 13 个光谱波段, 幅宽达 290km^[1]。其在近红外 (B8)、红 (B4)、绿 (B3)、蓝 (B2) 四个光学波段空间分辨率高达 10m。这些特点对于洪涝灾害遥感监测任务非常适合。

3. 免费共享, 实时下载

“哨兵”系列卫星研制期间, 欧洲航天局就制定了“全面、公开获取”原则的数据政策。目前已发射并成功在轨运行的卫星中, 已经免费公开了 Sentinel-1—3 的数据, 尤其是 Sentinel-1 数据, 它是全球首个向外界开放、免费的雷达数据。

四、基于“哨兵”数据的洪涝灾害监测系统构建和应用

1. 系统构建

根据洪涝灾害应急监测的需求, 基于“哨兵”数据 (主要是 Sentinel-1 雷达数据), 开发了可实时获取的遥感影像数据, 自动进行数据辐射校正、几何校正、图像增强和图像计算融合等遥感图像处

理功能的洪涝灾害监测系统。系统基本功能如下：

(1) “哨兵”数据的检索与下载

由于卫星数据更新滞后于实时洪涝灾害，需要设定数据检索和更新的规则，根据设定的数据需求规则，实现灾害区域“哨兵”卫星数据的检索和下载。

(2) 辐射定标

辐射定标校正了散射区域、雷达天线增益和方位向传输损失等因素的影响，实现了图像与地物后向散射关系转换。

(3) 声贝转换

由于后向散射系数数值范围差异太大，可将后向散射系数通过类似声贝 (dB) 转换方法转换处理，转换后的数值范围可控。

(4) 正射校正

由于合成孔径雷达 (SAR) 侧视成像的特点，地形起伏会对 SAR 影像造成很大的几何畸变，导致透视收缩、迭掩、阴影等现象，需要对雷达图像进行正射校正。对 SAR 图像受到透视收缩、定点位移、阴影和叠掩的影响，系统实现了 SAR 图像正射校正，改进了以上因素造成的畸变。

(5) 图像滤波

斑点噪声是由电磁波的相干现象所导致，属于乘性噪声，是不可避免的。采用卷积空间滤波降低斑点噪声的影响。

(6) 波段计算与融合

波段计算和融合功能主要实现多极化雷达图像的波段计算，生成 RGB 组合的三波段图像。

(7) 洪涝淹没区域提取和分析

为进行图像的水体淹没区域提取，需要对图像进行分析。雷达影像的水体提取，主要是基于微波范围内水体较低的后向散射特性来进行识别，阈值法常常被用在雷达影像的水体提取上。对于 Sentinel-1 卫星数据，适宜利用双峰法和最大类间

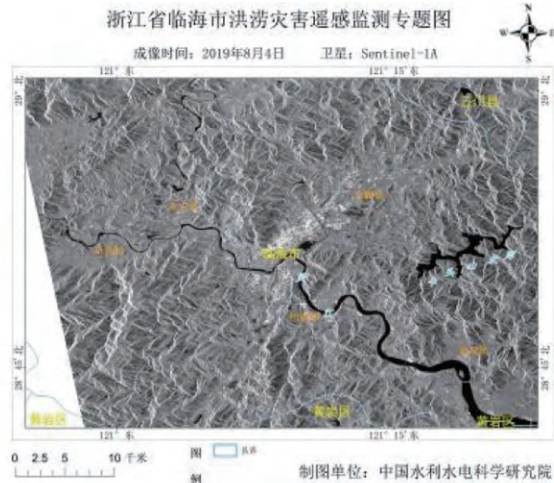
方差法来确定最优阈值^[3]。结合水体提取模型提取的灾后水体区域和灾前本底水体，进行洪水区域水体计算，提取洪水淹没区域。将淹没范围图和土地利用数据、社会经济数据等进行叠加分析，快速评估灾情。

2. 系统应用 — 以 2019 年“利奇马”台风洪涝灾害监测为例

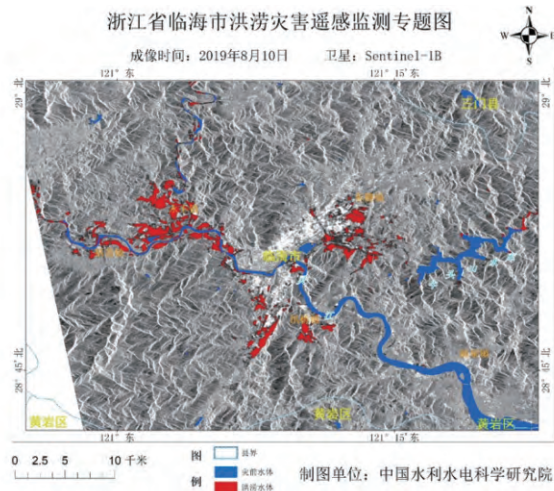
“利奇马”台风是 2019 年第九号台风，8 月 10 日凌晨 1 时 45 分在浙江温岭城南镇沿海登陆。受其影响，浙江台州市椒江流域临海市上游的始丰溪、永安溪两江同时暴发特大洪水，临海灵江暴发 80 年一遇洪水，8 月 10 日晚 20 时，洪峰水位 10.98m，超保证水位 4.28m。

在这次台风-洪涝灾害遥感监测中，获取了灾区灾前、灾中以及灾后 3 期“哨兵”卫星数据（见图 1）。台风登陆后的 8 月 11 日中午，获取了 8 月 10 日 17 时 53 分 Sentinel-1B 干涉测量宽幅模式影像数据（空间分辨率为 20m）。利用该影像对台风登陆后受灾最严重的浙江省临海市进行了灾情监测。另外还获取了灾区 8 月 4 日的 Sentinel-1A 干涉测量宽幅模式影像数据作为灾前对比数据。从监测结果可以看出，见图 1 (b)：受上游来水和下游高潮位顶托，灵江河道高负荷运行，牛头山水库水面积增加，水位上涨明显；临海市市区范围南部和东部受灾面积较大；灵江与其支流（始峰溪、永丰溪）交汇处沿岸地区受灾严重，尤其是永丰镇和括苍镇；另外汛桥镇临江位置和与牛头山水库相接的塘头溪沿岸两侧受灾严重；监测范围内，受淹总面积约 29.09km²，其中耕地受淹面积最大，为 23.98km²，城镇居民用地受淹面积为 0.48km²。

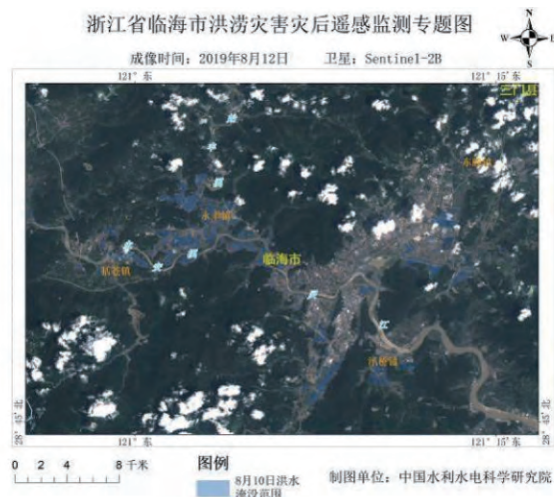
8 月 13 日，获取了灾区 8 月 12 日上午 10 点 35 分的四景 Sentinel-2B 光学卫星数据（空间分辨率为 10m），对该地区进行了后序跟踪监测。监测结果显示：8 月 10 日的洪水已基本退去，灾情基本解除，见图 1 (c) 中蓝色部分。



(a) 8月4日灾前遥感影像图



(b) 8月10日洪涝灾害遥感监测专题图



(c) 8月12日洪涝灾害灾后遥感监测专题图

图1 浙江省临海市洪涝灾害灾前、灾中、灾后遥感监测图

五、结束语

本文在面向洪涝监测业务的“哨兵”数据特点分析基础上，对基于“哨兵”数据的洪涝灾害监测系统构建进行了阐述，通过2019年“利奇马”台风洪涝灾害监测实际应用的结果表明：“哨兵”系列卫星数据是洪涝灾害遥感监测的重要数据源，其多星协同可实现洪水过程的动态监测。

参考文献

- [1] 国家减灾中心. 应急管理部、国家减灾委办公室发布2018年全国自然灾害基本情况 [EB/OL]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-01/10/content_5355888.htm.
- [2] 龚燃. “哨兵”卫星家族概览 [J]. 国际太空, 2014 (7): 23-27.
- [3] 李景刚, 黄诗峰, 李纪人, 等. ENVISAT 卫星先进合成孔径雷达数据水体提取研究——改进的最大类间方差阈值法 [J]. 自然灾害学报, 2010, 19 (3): 139-145.