

# 基于 GNSS 交叉标定的大范围 SAR 大气相位屏估计

Marco Manzoni (1), Naomi Petrushevsky (1), Andrea Virgilio Monti-Guarnieri (1), Stefano Tebaldini (1)

(1) Department of Electronics, Information and Bioengineering; 20133 - Politecnico di Milano, Milan, Italy.

准确的天气预报需要在数值天气预报模型 (NWPM) 中输入丰富而可靠的数据。数据的来源是多种多样的：地基雷达、全球导航卫星系统 (GNSS) 产品、无线电探测仪、气象站，等等。

不幸的是，在一些国家，气象数据很匮乏。以撒哈拉以南的非洲为例，平均每 26000 平方公里只有一个气象站，比世界气象组织 (WMO) 建议的气象站数量低八倍。此外，根据世界银行组织的信息显示，54% 的非洲气象站不能产生可靠的结果，而 71% 的高空气象站不能捕获准确的数据。

利用星载合成孔径雷达 (SAR) 图像来提供气象数据是解决气象站数据匮乏的方案之一。在干涉合成孔径雷达 (InSAR) 领域，特别是在形变监测方面，雷达信号的大气延迟一直是亟待解决的关键问题。然而，这种额外的延迟是信号经过具有不同压力、温度和湿度的介质的直接结果。因此，它可能是对气象模型有益的信息。

SAR 在气象学中的具有诸多优势。首先，数千平方公里的大规模测量对天气预报模型是有益的。其次，合成孔径雷达可以提供约在 0.5 公里的高分辨率地图，这是目前任何其他技术手段无法比拟的。

本海报将介绍一种估计 C 波段 Sentinel-1 SAR 数据堆栈的大气相位屏 (APS) 技术。算法结合利用了相位连接 (Phase Linking) 算法，可以对分布式和永久性目标的干涉相位进行最佳估计。两者的联合利用是能够生成数千公里的密集和统一地图的关键因素，即使是在热带森林等高度非相关的地区。

在数据采集中，卫星轨道误差的出现将会在估计的 APS 中引起畸变，称为轨道相位屏 (OPS)。OPS 将破坏 APS 的低空间频率的特性，因此必须将其去除。建议的处理流程包括一个交叉校准，它依赖于安装在成像区域的 GNSS 站的网络。SAR 和 GNSS 的协同使用将允许对 OPS 进行可靠的估计，并随后从大气产品中去除。这一程序可获取正确的 APS，避免了过滤 APS 本身的低空间频率成分的风险。

该程序首先在南非地区进行了测试，生成了大约 21 万平方公里的大气延迟图。该地区地形陡峭，显示出严重的非相关性。然而，提出的算法仍然可以产生可靠的差分大气延迟估计。算法还采用了轨道校正程序，并使用外部 NWPM (GACOS) 对得出的 APS 进行了验证。从延迟图中得出了一些空间统计结果，表明它们符合文献中的理论模型。

最后，我们测试了第二个验证地点——瑞典。在这个地区，SAR 图像之间的相关程度取决于不同季节，特别是雪的形成和融化。尽管如此，我们的方法仍然能够产生令人满意的结果。该地区有几十个 GNSS 站，可以进行非常准确的 OPS 估计和 APS 地图的验证。