

基于无监督深度学习的 SAR 影像中海岸带水淹更全面的理解

柳彬¹；李晓峰^{2*}；郑罡³

¹ 上海海洋大学, bliu.sjtu@gmail.com

² 中国科学院海洋研究所, Xiaofeng.Li@ieee.org

³ 自然资源部第二海洋研究所, gang_zheng@outlook.com

* 通信作者

热带气旋引起的海岸带洪水是沿海地区一种危险的自然灾害，它是风暴潮引起的海水漫滩和暴雨引起的河水泛滥共同作用的结果。热带气旋引起的海岸带洪水在沿海地区造成了巨大的生命和财产损失，在该地区，世界上大多数人口和大城市密集分布。

海岸带水淹区域精确制图在以下几个方面很重要：（1）它可以帮助管理层准确评估损失并制定更合适的救灾计划；（2）它可以帮助科学家更好地了解洪水机理、建立更精确的预报模型；（3）水淹范围信息可以转换为水淹深度信息。

合成孔径雷达（synthetic aperture radar, SAR）是一种适用于海岸带水淹制图的遥感手段，因为它可以提供全天时、全天候的遥感能力和被淹场景的高分辨率图像。此外，SAR 对地表水淹敏感，有时可以提取植被覆盖之下的水淹区域。SAR 图像海岸带水淹制图的传统方法主要基于图像处理技术，使用后向散射、统计和极化信息。传统方法使用基于人类观察和设计的预定义特征和/或规则。由于人为设计特征和规则的局限性，它们很难在各种影响下提供稳定的性能，这些影响包括：相干斑噪声、SAR 成像系统参数、时相失配、气象条件和环境差异。

大数据时代快速发展的深度学习技术为 SAR 图像稳健海岸带水淹制图提供了有希望的解决方案。在深度学习范式中，深度卷积神经网络（deep convolutional neural network, DCNN）适用于图像信息挖掘。在 DCNN 模型中，图像模式识别和分类的稳健特征是从大量输入数据中挖掘出来的，而不是通过人类对有限数据的观察来预先定义的。这些借助领域知识的数据驱动模型的优势在于，可以在各种影响下为模式识别和分类提供稳定的性能。在我们以前的工作中，我们提出了一种改进的 DCNN 模型，该模型利用双时相和双极化 SAR 图像实现稳健的海岸带水淹制图，并且验证了该模型对于热带气旋导致的海岸带洪水时空分析是有效的。

当前，存在一些基于 DCNN 的 SAR 图像海岸带水淹制图模型。它们中的大多数基于监督 DCNN 模型。监督 DCNN 模型需要大量与观测数据匹配的真值标签。真值标签是由人类专家在多数据源和场景信息的帮助下提供的。该过程非常耗时、昂贵并且容易受到人为偏见的影响。此外，如果在训练中使用的数据集未涵盖新条件，则应针对新条件对训练所得的监督模型进行微调。这可能会影响 DCNN 模型的泛化能力。因此，在这项研究中，我们建议在另一方向上探索 DCNN 模型，即无需人工监督的模型，以用于 SAR 图像海岸带水淹制图。

本文提出的设计基于深度卷积自编码器（deep convolutional autoencoder, DCAE）。DCAE 模型可以将 SAR 图像的后向散射、极化、空间上下文和时相信息融合在一起，并

从高维输入图像数据中以无监督的方式挖掘最显著的特征。在本研究中，我们利用 DCAE 模型的这项能力，然后对 DCAE 生成特征进行无监督聚类，以进行海岸带水淹制图。我们发现所提框架有以下有趣特性：（1）该框架在局部干扰（例如相干斑噪声和时相失配）影响下具有鲁棒性，这是因为 DCAE 中的卷积可以引入空间上下文信息。

（2）该框架在气象条件影响下是鲁棒的，这是因为它逐案处理制图问题。水淹制图的特征是从相同气象条件数据中生成的。（3）该框架不仅可以提取水淹区域，还可以对场景进行分类。由于水淹区域与场景相关联，因此我们可以从水淹区域中获得更丰富的信息。例如，可以将水淹区域归类为沿水的、环绕建筑区的或覆盖空旷地表的水淹区域。（4）该框架不仅可以发现地表水淹，而且还可以同时发现植被覆盖下的水淹。在某些情况下，植被覆盖下的水淹在 SAR 图像中具有独特的模式，这是因为水淹区域导致偶次散射的增加。可以在所提框架中将这种模式与来自地表水淹的模式一并提取。因此，我们发现所提框架对于在 SAR 图像中进行稳健海岸带水淹制图是具有前景的，并且可以对海岸带水淹区域有更全面的了解。

我们利用 2017 年哈维和 2019 年海贝思的 Sentinel-1 SAR 数据进行了一些实验。验证数据是在历史信息和高分辨率光学数据（如果有）的帮助下通过人工标记生成的。初步结果验证了所提框架具备上述特性，而无监督的框架将适用于自然灾害影响下（如海岸带洪水）的信息挖掘。