

学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Contents of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	Near-real-time Flood Mapping using Variants of Autoencoders with Synthetic Aperture Radar Images and other Ancillary Data (合成開口レーダ画像と補助データを用いたオートエンコーダによる準リアルタイム洪水マッピング)
氏 名(Name)	Vaibhav Katiyar

Timely detection of flooding is paramount for saving lives as well as evaluating the level of damage. Floods generally occur under specific weather conditions, such as excessive precipitation, which makes the presence of clouds very likely. For this reason, radar-based sensors are most suitable for near-real-time flood mapping. Deep Convolution Neural Networks (DCNNs) are playing a very important role in remote sensing applications. However, one of the major challenges in utilizing DCNNs is access to the training data. Firstly, there are very little training data available in various fields such as in natural disaster areas, secondly, even if it's available it may not be suited to the area we are planning to implement. In such a case creating training data by oneself becomes very important. However, we need to understand that there is a big difference between the computer vision dataset and the remote sensing dataset. As in the latter case, one scene may cover thousands of square kilometres and the total number of scenes are limited. This is why there is a concept of 'chips' used in the remote sensing domain which means a subset of the satellite scene to be used as an 'image' in computer vision sense. This study goes in-depth for selecting the best way to create a training dataset in the remote sensing domain. Along with our own training set that has been created using ALOS-2 and had been implemented for flooded area extraction in various sites of Japan. Another, publicly available dataset is Sen1Floods11, recently released by the Cloud to Street platform is one example of ongoing beneficial initiatives to employ deep learning for flood detection with synthetic aperture radar. In the present study, we have used this dataset also to improve flood detection using well-known segmentation architectures, such as SegNet and UNet, as networks. Also, this study provided a deeper understanding of which combination of band polarization is most suitable for detecting permanent water as well as flood areas in SAR images. The overall performance of the models with various kinds of labels and a combination of bands to detect all surface water areas were also assessed. Finally, the trained models were tested on a completely different location for verifying their performance in the real-world situation of a flood event outside of the given test set in the dataset. The results prove that

(和文 2,000 字程度 / 英文 800 語程度)
(about 800 words)

trained models can be used as off-the-shelf models to achieve an intersection over union as high as 0.88 in comparison with optical images. Moreover, the omission and commission errors were less than 6%. The most important result of the study is that the processing time for the whole satellite image was less than 1 minute which is key in case of disaster response. In this study, we have also explored transfer learning thoroughly concerning flood mapping and have found two ways transfer learning can be implemented. The first is for transferring learned knowledge from weak-labelled data to quality-controlled data. This helps in achieving better results without utilizing too much time for training data creation. The second is to transfer the learned information from one satellite to another SAR satellite (here from Sentinel-1 to ALOS-2). This not only improved the time for training the model but has also reduced the demand for the training data with a new satellite. Overall, the whole pipeline presented in this study will help significantly in providing analysis and near-real-time flood mapping services to first responder organizations during flooding disasters. Along with this, it will also help the research community for utilizing deep learning with newer SAR satellites in future.

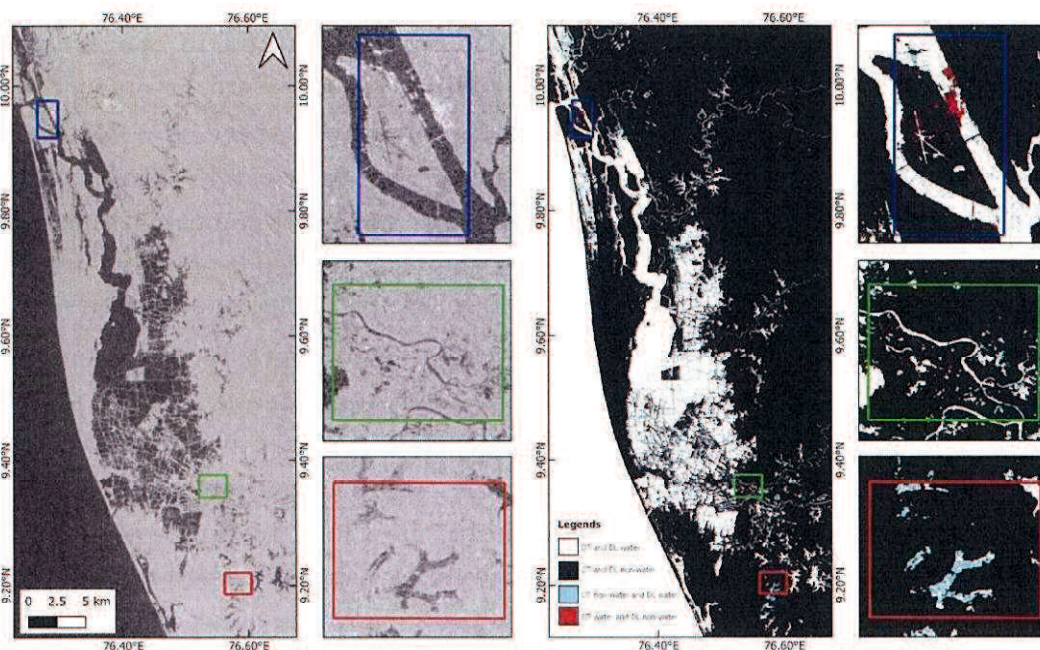


Figure: SAR (VH band) image and the corresponding combined result of Otsu thresholding (OT) and deep learning (DL) in a single image. White and black pixels in the resulting image represent pixels detected by both algorithms as water and non-water, respectively; Cyan and red pixels show areas where the algorithms differed, with cyan representing areas classified as water by DL but as non-water by OT and red representing areas classified as water by OT but as non-water by DL.

(様式 9 号)

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	Vaibhav Katiyar
審査委員	主 査： 長井 正彦
	副 査： 中村 秀明
	副 査： 大澤 高浩
	副 査： 今岡 啓治
	副 査： 神野 有生
論文題目	Near-real-time Flood Mapping using Variants of Autoencoders with Synthetic Aperture Radar Images and other Ancillary Data (合成開口レーダ画像と補助データを用いたオートエンコーダによる準リアルタイム洪水マッピング)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>近年、世界中で豪雨による洪水が深刻な被害をもたらしている。洪水が発生した際にいち早く被害状況を把握することは、二次災害の軽減や緊急対応・復旧にとって非常に重要である。本研究では、夜間や荒天時でも観測できる SAR 衛星データを利用することにより洪水検出を試みた。既存の手法では、災害前のアーカイブ画像有無、同一の画像からの教師データの構築、解析者の経験による閾値の設定やパラメータチューニング等が必要不可欠であったが、深層学習のモデルの一つであるオートエンコーダ (U-Net および SegNet) を用いることにより、災害直後の準リアルタイム洪水マッピングの高精度化を試みた。特に、災害時における教師データの不足や、今後の新規 SAR 衛星の利用を念頭に置き、転移学習や Rough 教師データ (グラウンドトゥルースが行われていない教師データ等) の利用を開発した。</p> <p>本論文は 7 章から構成されており、1 章では社会的な背景、研究課題と目的、論文の全体構成について述べた。</p> <p>第 2 章では本研究の基礎となる SAR 衛星データの仕様や特徴、衛星データを対象とした機械学習手法等に関する既存技術について述べた。</p> <p>第 3 章では、公開されているパブリックデータを用い、Sentinel-1 衛星データを利用してオートエンコーダと教師データ (Labeled Training Data) の違いによる評価を行った。</p> <p>第 4 章では、効果的な教師データの構築手法について述べた。本研究ではスライディングウィンドウ法を用いてランダムサンプリングにより教師データを構築した。</p> <p>第 5 章では 2020 年に発生した熊本豪雨災害を対象に、ALOS-2 衛星データを利用し、第 3 章の結果からの転移学習と第 4 章の結果からの洪水域の教師データにより洪水の検出を行った。</p> <p>第 6 章では、今後、新規に打ち上げられる SAR 衛星の利用を踏まえ、Rough 教師データ等を用いて転移学習により洪水の検出を行った。</p> <p>第 7 章では本研究の結論を総括し、展望を述べた。主な成果は以下の通り。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 深層学習のモデルの一つであるオートエンコーダ (U-Net および SegNet) により、VV や VH の偏波データや様々な教師データを検証し、災害直後の準リアルタイム洪水マッピングの高精度化を試みた。 2) 転移学習を用いることにより、教師データが少ない場合においても、洪水の検出精度を向上させることができた。 3) U-Net と SegNet の比較においては、U-Net の方が良い洪水検出結果を得ることができた。 	

(様式 9 号)

- 4) Sentinel-1 と ALOS-2 による転移学習の実装を行った。Sentinel-1 により学習モデルを構築し、その学習モデルを用いて ALOS-2 による洪水検出を行った。同一の衛星による洪水検出と同等の結果を得ることができた。

公聴会には、38名の参加があった。公聴会での主な質問は、①災害などを対象としており、学習データが不足した場合の Image Augmentation について、②簡易的な Otsu Threshold と比較してどのような利点があるか、③洪水検出の際に、濁度は影響するのか、④VV、VH だけでなく VV/VH を入力すると結果が改善できているので、一般的に、各偏波の散乱係数をそのまま入れるより、散乱電力分解の結果を入れる方が結果の改善が望めるか、⑤実際の災害時における転移学習の利点について、であり、活発な質疑応答が行われ、いずれの質問に対しても発表者からは適切な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分に値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する回答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記の通りである。（関連論文 計 4 編）

- 1) Vaibhav Katiyar, Nopphawan Tamkuan, Masahiko Nagai, Near-Real-Time Flood Mapping Using Off-the-Shelf Models with SAR Imagery and Deep Learning, Remote Sensing 13, no. 12: 2334, June 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13122334>
- 2) Vaibhav Katiyar, Masahiko Nagai, Training data development strategy for applying deep learning in remote sensing applications, 1st Intercontinental Geoinformation Days (IGD), Nov. 2020.
- 3) Vaibhav Katiyar, Masahiko Nagai, Flood area detection using SAR images with deep neural network during 2000 Kyushu flood Japan, Proceeding of Asian Conference on Remote Sensing, Oct. 2020.
- 4) Vaibhav Katiyar, Masahiko Nagai, Automated extraction of water bodies from ALOS-2 images using u-net and rough training set, Proceeding of Asian Conference on Remote Sensing, Oct. 2019.