

Titre de la thèse :

Méthodes d'apprentissage profond basées sur l'incertitude pour une segmentation et une analyse robustes et fiables de l'IRM cardiaque

Composition du Jury :

- Mireille GARREAU, Professeure des universités, Université de Rennes 1, Examinatrice
- Patrick CLARYSSE, Professeur des universités, Directeur de Recherche CNRS, CREATIS, Rapporteur
- Caroline PETITJEAN, Professeure des universités, Université de Rouen Normandie, Rapporteuse
- Stéphanie BRICQ, Maitresse de conférences HDR des universités, Université de Bourgogne, Codirectrice de thèse
- Fabrice MERIAUDEAU, Professeur des universités, Université de Bourgogne, Directeur de thèse

Résumé :

Les méthodes de segmentation basées sur l'apprentissage profond se sont révélées prometteuses pour automatiser la segmentation des images IRM cardiaques, mais elles sont toujours confrontées à des défis pour segmenter de manière robuste de petites régions ambiguës aux formes irrégulières comme les cicatrices myocardiques. De plus, ces modèles sont confrontés aux changements de domaine et aux échantillons hors distribution (OOD), ce qui les rend peu fiables et limite leur utilisation dans la pratique clinique. Pour améliorer la segmentation des cicatrices myocardiques, un modèle de segmentation est proposé qui intègre les informations d'incertitude dans le processus d'apprentissage. En utilisant des réseaux neuronaux bayésiens basés sur une méthode Monté Carlo Drop out, l'incertitude est estimée et incorporée dans la fonction de perte, ce qui améliore la précision de la segmentation et l'étalonnage des probabilités. Pour améliorer la fiabilité des modèles de segmentation, un cadre de contrôle qualité (CQ) basé sur l'incertitude est introduit pour identifier les segmentations ayant échoué avant une analyse plus approfondie. Le cadre CQ utilise un U-Net basé sur un Transformer bayésien Swin pour la segmentation des images cartographiques T1 et utilise des caractéristiques d'incertitude au niveau de l'image pour détecter les images mal segmentées. Les résultats expérimentaux sur des ensembles de données privés et publics démontrent que la méthode de CQ proposée surpasse considérablement les autres méthodes de CQ de l'état de l'art basées sur l'incertitude, en particulier dans des scénarios difficiles. De plus, une méthode de détection OOD post-hoc est proposée pour identifier et rejeter les images aberrantes. Cette méthode utilise les fonctionnalités d'encodeur du modèle de segmentation et les métriques de similarité pour améliorer la fiabilité des modèles de segmentation. Les résultats expérimentaux démontrent que la méthode proposée surpasse les méthodes de détection OOD de l'état de l'art basées sur l'espace des caractéristiques et l'incertitude dans les différents ensembles de données OOD.

Thesis title:

Uncertainty-based Deep Learning Methods for Robust and Reliable Cardiac MRI Segmentation and Analysis

Abstract:

Deep learning-based segmentation methods have shown promise in automating the segmentation of cardiac MRI images, but they still face challenges in robustly segmenting small, ambiguous regions with irregular shapes like myocardial scars. Additionally, these models struggle with domain shifts and out-of-distribution (OOD) samples, which makes them unreliable and limits their usage in clinical practice. To improve the segmentation of myocardial scars, a segmentation model is proposed that integrates uncertainty information into the learning process. By utilizing Monte-Carlo dropout-based Bayesian neural networks, uncertainty is estimated and incorporated into the loss function, resulting in improved segmentation accuracy and probability calibration. To enhance the reliability of segmentation models, an uncertainty-based quality control (QC) framework is introduced to identify failed segmentations before further analysis. The QC framework utilizes a Bayesian Swin transformer-based U-Net for the segmentation of T1 mapping images and employs image-level uncertainty features to detect poorly segmented images. Experimental results on private and public datasets demonstrate that the proposed QC method significantly outperforms other state-of-the-art uncertainty-based QC methods, particularly in challenging scenarios. Furthermore, a post-hoc OOD detection method is proposed to identify and reject outlier images. This method utilizes the encoder features of the segmentation model and similarity metrics to enhance the trustworthiness of segmentation models. Experimental results demonstrate that the proposed method outperforms state-of-the-art feature space-based and uncertainty-based OOD detection methods across the various OOD datasets.