
Titre : Modèles d'apprentissage avancés pour la reconstruction d'images échographiques.

Mot clés : Ultrasons à ondes planes, Reconstruction d'images, Problème inverse, Modèles de diffusion, Représentation neuronale implicite

Résumé : L'imagerie par ultrasons est largement utilisée en raison de sa nature en temps réel, économique, portable et non ionisante. Cependant, les méthodes traditionnelles de reconstruction, telles que le retard et la somme (Delay-and-Sum), sont souvent limitées par un faible contraste, une basse résolution spatiale et une sensibilité au bruit et aux artefacts. La plupart des approches traitant ces défis se concentrent soit sur des techniques basées sur des modèles, soit sur des approches basées sur l'apprentissage. Cette thèse contribue à la conception d'algorithmes hybrides, combinant des méthodes basées sur des modèles et sur l'apprentissage. La partie centrale de la thèse exploite les modèles de diffusion générative comme connaissances préalables pour résoudre le problème d'inversion de reconstruction d'images par ultrasons. En particulier, nous proposons plusieurs adaptations du Denoising Diffusion Resto-

ration Model (DDRM) pour prendre en compte les données brutes formées en faisceaux, le bruit coloré et leur combinaison avec des méthodes traditionnelles de réduction du speckle. Plus important encore, nous examinons l'impact de la stochasticité des prédictions de diffusion et montrons que la variance des prédictions générées par diffusion fournit une solution intéressante au problème de reconstruction d'images sous bruit multiplicatif. La méthode est également validée sur des données d'imagerie radar à synthèse d'ouverture (SAR), démontrant sa polyvalence. Une contribution annexe de cette thèse est la proposition d'une représentation neuronale implicite permettant de représenter de manière compacte plusieurs acquisitions d'ultrasons en ondes planes, réalisant ainsi une compression substantielle des données sans compromettre l'efficacité.

Title: Advanced Learning Models for the Reconstruction of Ultrasound Images

Keywords: Plane-wave ultrasound, Image reconstruction, Inverse problem, Diffusion models, Implicit neural representation

Abstract: Ultrasound imaging is widely used due to its real-time, cost-effective, portable, and non-ionizing nature. However, traditional reconstruction methods, such as Delay-and-Sum, are often limited by poor contrast, low spatial resolution, and sensitivity to noise and artefacts. Most approaches addressing these challenges focus either on a model-based or a learning-based technique. This thesis contributes instead to the design of hybrid algorithms, combining model- and learning-based methods. The core part of the thesis leverages generative diffusion models as prior knowledge to solve the ultrasound inverse image reconstruction problem. In particular, we propose several adaptations of the Denoising Diffusion Restora-

tion Model (DDRM) to consider raw beamformed data, coloured noise, and its combination with traditional despeckling methods. Most importantly, we investigate the impact of the stochasticity of the diffusion predictions and show that the variance of the generative diffusion predictions provides an interesting solution to the image reconstruction problem under multiplicative noise. The method is further validated on SAR imaging, demonstrating its versatility. An ancillary contribution of this thesis is the proposition of an implicit neural representation to compactly represent multiple plane-wave ultrasound acquisitions, achieving substantial data compression without compromising efficiency.