

Thèse à Creatis

Equipe : Creatis – MYRIAD

Encadrants : Denis Friboulet (Professeur), Fabien Millioz (Maître de conférences), Damien Garcia (Chercheur Inserm)

Pour candidater : Envoyez aux contacts ci-dessous un curriculum vitae, une lettre de motivation et les notes/classements de vos 2 dernières années d'études (incluant les résultats du 1er semestre de l'année universitaire 2020-2021)

Contacts : denis.friboulet@creatis.insa-lyon.fr, fabien.millioz@univ-lyon1.fr

1. TITRE

Reconstruction du champ de vitesses Doppler par apprentissage profond en imagerie ultrasonore

2. CONTEXTE

L'objectif médical de ce projet est l'obtention simultanée de la dynamique de la paroi myocardique et de celle du sang pour une évaluation exhaustive de la fonction cardiaque lors d'un examen échocardiographique. En imagerie ultrasonore, les acquisitions Doppler duplex permettent effectivement de visualiser l'anatomie des tissus explorés (images B-mode) et les vitesses de déplacements (images Doppler). De ce fait, le temps d'acquisition doit être partagé entre les tirs consacrés à l'anatomie et ceux consacrés au Doppler. Ce type d'imagerie est dès lors limité en cadence d'acquisition : la réalisation d'une image duplex de qualité nécessite de l'ordre de 32 émissions pour la partie anatomique et de 32 émissions pour la partie Doppler, ce qui conduit, au mieux, à des cadences d'acquisition de l'ordre de 50 images/cycle cardiaque [1]. Cette limitation s'avère très problématique pour l'étude et le suivi de phénomènes cardiaques très rapides.

Nous avons récemment démontré qu'une approche reposant sur des réseaux convolutionnels permettait de réduire d'un ordre de grandeur les temps d'acquisition dévolus à la caractérisation des structures anatomiques (B-Mode) en imagerie par ondes planes [2] ou divergentes [3].

En ce qui concerne la partie Doppler de l'acquisition, nous avons par ailleurs montré la faisabilité d'une réduction d'un facteur d'environ 2 du nombre d'émissions à partir d'approches d'échantillonnage compressé [4, 5]. Ces approches ne permettent malheureusement pas une augmentation significative de la cadence d'acquisition, du fait du faible facteur de compression et surtout parce qu'elles impliquent la résolution d'un problème inverse, qui ne permet pas d'obtenir des temps de calcul compatibles avec des acquisitions rapides.

3. OBJECTIF ET METHODOLOGIE

Dans ce contexte, l'objectif de ce projet est de développer, mettre en œuvre et valider une approche de réseau neuronal profond (DNN) pour la reconstruction de la paroi myocardique (B-mode) et du flux sanguin (Doppler) à partir d'un très faible nombre d'émissions. Cette approche devra permettre d'obtenir des images de haute qualité tout en diminuant d'un ordre de grandeur les temps d'acquisition (cadences de plus de 500 images/s).

Un élément crucial pour l'apprentissage de tout DNN est la disponibilité de données de référence massives et fiables. Les données Doppler de référence ne peuvent pas être obtenues à partir d'acquisitions physiques. De ce

fait, ces données de référence seront générées en utilisant les approches de simulation d'images ultrasonores développées à Creatis pour les structures cardiaques [6] et pour les flux sanguins [7].

Les points clés à aborder dans ce travail seront alors les suivants :

- En utilisant l'ensemble d'entraînement mentionné ci-dessus, l'adaptation du réseau convolutionnel développé à Creatis en imagerie [3] pour l'estimation du Doppler sera examinée. En particulier, les propriétés de conservation de la phase du réseau devront être quantifiées.
- À partir de ces premiers résultats, une approche DNN dynamique sera développée pour exploiter la redondance temporelle inhérente aux séquences d'images et améliorer ainsi la qualité de l'estimation ainsi que le temps de calcul. Afin d'intégrer ces contraintes temporelles dans le processus de reconstruction, le-la doctorant-e devra examiner l'adaptation d'architectures telles que les réseaux neuronaux récurrents ou les réseaux convolutionnels temporels.

Les approches développées seront optimisées et évaluées sur la base de simulations numériques et de données expérimentales acquises *in vitro* sur des fantômes avec mouvement contrôlé. Une phase de validation sur des données cardiaques acquises *in vivo* sera réalisée en fin de thèse. Sur le plan informatique, les développements logiciels seront basés sur la bibliothèque python PyTorch.

La validation du projet sur les données acquises *in vivo* sera réalisée en collaboration avec un cardiologue de Toronto (O. Villemain). Les séquences ultrarapides, obtenues avec un appareil échographique de recherche Verasonics, seront évaluées chez 10 volontaires [8].

4. PROFIL DES CANDIDAT·E·S

Master en apprentissage machine ou en traitement du signal/de l'image, montrant une bonne connaissance et expérience des réseaux neuronaux profonds, ainsi que d'excellentes compétences en programmation, entraînement et test de ces réseaux. Des connaissances préalables en imagerie ultrasonore ne sont pas un prérequis dans la mesure où le-la candidat-e sera formé-e dans ce domaine à Creatis. Une expérience et un intérêt pour l'imagerie médicale et l'imagerie ultrasonore en particulier constitueront néanmoins un atout.

5. REFERENCES DE L'EQUIPE D'ENCADREMENT SUR LE SUJET

- [1] J. Faurie, M. Baudet, J. Porée, G. Cloutier, F. Tournoux, and D. Garcia, Coupling Myocardium and Vortex Dynamics in Diverging-Wave Echocardiography, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 66 (3), 425-432, 2019.
- [2] M. Gasse, F. Millioz, E. Roux, D. Garcia, H. Liebgott, and D. Friboulet, High-Quality Plane Wave Compounding using Convolutional Neural Networks, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectricity and Frequency Control*, 64 (10), 1637-1639, 2017.
- [3] J. Lu, F. Millioz, D. Garcia, S. Salles, W. Liu, and D. Friboulet, Reconstruction for Diverging-Wave Imaging Using Deep Convolutional Neural Networks, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectricity and Frequency Control*, 67 (12), 2481-2492, 2020.
- [4] O. Lorintiu, H. Liebgott, and D. Friboulet, Compressed sensing Doppler ultrasound reconstruction using block sparse Bayesian learning, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 35 (4), 978-987, 2016.
- [5] J. Richy, D. Friboulet, A. Bernard, O. Bernard, and H. Liebgott, Blood Velocity Estimation Using Compressive Sensing, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 32 (11), 1979-1988, 2013.
- [6] M. Alessandrini, B. Chakraborty, B. Heyde, O. Bernard, M. D. Craene, M. Sermesant, and J. D'Hooge, Realistic Vendor-Specific Synthetic Ultrasound Data for Quality Assurance of 2-D Speckle Tracking Echocardiography: Simulation Pipeline and Open Access Database, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 65 (3), 411-422, 2018.

- [7] K. C. Assi, E. Gay, C. Chnafa, S. Mendez, F. Nicoud, J. F. P. J. Abascal, P. Lantelme, F. Tournoux, and D. Garcia, Intraventricular vector flow mapping—a Doppler-based regularized problem with automatic model selection, *Physics in Medicine & Biology*, 62 (17), 7131-7147, 2017.
- [8] P. Joos, J. Porée, H. Liebgott, D. Vray, M. Baudet, J. Faurie, F. Tournoux, G. Cloutier, B. Nicolas, and D. Garcia, High-Frame-Rate Speckle-Tracking Echocardiography, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 65 (5), 720-728, 2018.