ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Réseaux de neurones informés par la physique pour la caractérisation automatique de défaut par thermographie infra-rouge laser

Référence : **TIS-DTIS- 2024-31**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2024	**Date limite de candidature : Juin 2024**

Mots clés Non destructive Testing, Deep Learning, Physics informed neural network, infra-red thermography

Profil et compétences recherchées

Master en machine learning et deep learning, formation solide en traitement des images, vision par ordinateur. Des connaissances thermique ainsi qu'un intérêt pour l'expérimentation sont souhaitées.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

La détection de défauts dans les structures aéronautiques et spatiales suscite un vif intérêt, que ce soit durant la phase de fabrication ou bien lors des opérations de maintenance. Les moyens pour contrôler l'intégrité de ces structures doivent donc être rapides, précis, fiables, à faible coût, et le plus miniaturisés possible.

L'ONERA développe depuis de nombreuses années des méthodes innovantes de contrôle non destructif (CND) pour la détection de défaut. L'expertise de l'ONERA repose d'une part sur la maîtrise d'une variété de modalités d'inspection CND (thermographie active infra-rouge, ultra-sons, vibrométrie laser, courants de Foucault etc), et d'autres part sur la maîtrise du développement de méthodes de traitements automatiques de données, exploitant notamment les approches les plus récentes de Deep Learning. Cette thèse porte en particulier sur l'inspection par thermographie active par simulation laser, appelée Flying Spot, dont l'intérêt pour l'inspection de pièces métalliques a été démontré ces dernières années notamment à l'ONERA [Archer2020]. Récemment des approches de détection et localisation de défauts dans les cartographies thermiques issues d'un banc Flying Spot de l'ONERA à l'aide d'approches de *Deep Learning* ont été développées [Helvig2020, Helvig2021]. Ces études ont dû cependant faire face à un nombre limité de données réelles. Ainsi, une approche de type *curriculum learning* a été proposée, consistant en un apprentissage progressif d'un réseau de classification en démarrant l'entraînement avec des données simplifiées issues logiciel de simulation par éléments finis, puis avec des données de synthèse obtenues par diffusion et enfin avec des données réelles.

Ces travaux ont donnés des résultats très prometteurs mais cependant ils n'intègrent pas de connaissance a priori sur la physique d'acquisition, pourtant bien connue. Or des méthodes couplant des réseaux de neurones et la connaissance des lois physiques ont été développées dans l'état de l'art [Maziar2019]. Ainsi, les réseaux informés par la physique, appelés PINNs (*physics informed neural networks*), permettent d'exploiter le potentiel des algorithmes reposant sur des réseaux de neurones tout en intégrant des contraintes issues des lois de la physique lors de l'apprentissage du réseau. Utilisés depuis plusieurs années dans le domaine de la mécanique des fluides, les PINNS n'ont été introduit que récemment en CND [Shukla2020, Hsiao2023]. Le premier objectif de la thèse est donc d'introduire la connaissance de la physique dans la détection de défaut par Flying Spot par Deep Learning. Pour cela, le/la doctorante pourra s'intéresser à enrichir les méthodes de synthèses d'images en ajoutant des contraintes liées aux lois de diffusion thermique, comme proposé dans [Shu2023] mais également à introduire ces lois dans l'étape de détection [Hsiao2023]. Ses méthodes seront validées sur des données simulées et expérimentales produites au DMAS. Un enjeu dans ce travail sera d'évaluer la balance entre la quantité de données simulées, de synthèse et expérimentales nécessaires pour la détection du défaut tout en assurant une performance acceptable et sans sur-apprentissage.

Le deuxième axe de travail de la thèse consiste à dépasser la détection de défaut, en

développant notamment des méthodes de segmentation sémantique à partir de données thermique, permettant une caractérisation plus fine du défaut. Le/la doctorant(e) pourra avantageusement exploiter les outils récents de l'état de l'art tels que les modèles de fondation, entraînés sur des très grandes bases de données et qui offrent de très fortes capacités de généralisation pour la segmentation sémantique [Kirillov2023], en comparaison ou en association avec des réseaux de neurones de segmentation sémantique de l'état de l'art. Un enjeu de ce travail sera de pouvoir traiter des pièces comportant une mosaïque de défauts. Ces travaux s'intégreront dans la chaîne de détection de défaut multi-spectrale par fusion de l'inspection Flying Spot et d'inspection visible développée dans des travaux précédents [Helvig 2022].

Enfin, les travaux actuels de l'ONERA détectent les défauts sur les cartographies thermiques obtenues par accumulation d'acquisitions pendant le déplacement du laser. Un dernier axe de travail de la thèse consistera à s'intéresser à la détection et caractérisation du défaut images par images. Le traitement des images directement pendant l'acquisition apporte d'une part un gain de temps d'inspection et d'autre part ouvre la voie à une commande intelligente sur la position du spot laser, typiquement via un bras robotisé, pour maximiser la performance de la caractérisation du défaut et pouvoir inspecter une pièce dans son intégralité. Une démonstration clôturera les travaux de thèse.

Bibliographie

[Archer2020] Archer, P. Beauchêne, B. Passilly, JM. Roche, Use of laser spot thermography for the non-destructive imaging of thermal fatigue microcracking of a coated ceramic matrix composite, Quantitative InfraRed Thermography Journal, Vol. 18, Issue 3, 2020

[Helvig2021] K. Helvig et al. Towards deep learning fusion of flying spot thermography and visible inspection for surface cracks detection on metallic materials, Proc. Of QIRT 2022.

[Helvig2023] K. Helvig et al. Détection de fissure sur matériaux métalliques par apprentissage profond et thermographie laser flying-spot : approche par apprentissage progressif, Gretsi, 2023.

[Hsiao2023] T. Hsiao et al., A Physics-informed Neural Network for Pulsed Thermography-Based Defect Detection and Parameter Estimation. Proceedings of the 13th European Conference on Non-Destructive Testing 2023

[Kirillov2023] A. Kirillov et al. , Segment Anything, arXiv:2304.02643, 2023

[Maziar2019] R. Maziar et al. "Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations." Journal of Computational Physics 378 (2019): 686-707.

[Özkanoğlu2022] M. Akif Özkanoğlu, S. Ozer, InfraGAN: A GAN architecture to transfer visible images to infrared domain, Pattern Recognition Letters, Volume 155, 2022.

[Shu2023] S. Dule Shu, L. Zijie Li, A. Barati Farimani, A physics-informed diffusion model for high-fidelity flow field reconstruction,Journal of Computational Physics, Volume 478,2023

[Shukla2020] K. Shukla et al. Physics-informed neural network for ultrasound nondestructive quantification of surface breaking cracks. Journal of Nondestructive Evaluation, 39, 1-20, 2020

Collaborations envisagées

Laboratoire d'accueil à l'ONERA	**Directeur de thèse**
Département : Département Traitement de l'Information et Systèmes Lieu (centre ONERA) : Palaiseau **Contact** : Pauline Trouvé-Peloux (DTIS), Baptiste Abeloos(DTIS) Ludovic Gavérina (DMAS)	Nom : Thierry Sentenac Laboratoire : IMT Albi Tél. : Email :

Tél. : 01 80 38 65 85 Email : pauline.trouve@onera.fr, baptiste.abeloos@onera.fr, ludovic.gaverina@onera.fr	

Pour plus d'informations : https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche