

TITRE : SOLution IA pour le contrôle Non-DEstructif par ultrasons de Systèmes critiques (SONDES)

Thématique / Domaine / Contexte

Basic AI and Data Science : apprentissage statistique en grandes dimensions

Specialized ML and AI : signal, image, vision

Application domain : non-destructive control, ultrasound sensors **Mots-clés** deep learning, imagerie multi-modale, apprentissage faiblement supervisé

Laboratoires partenaires impliqués : IBISC (UEVE) **durée totale du stage** 6

mois **date de début et de fin du stage** 15/02/2023 au 1/09/2023

Description Les ultrasons sont également utilisés pour le contrôle non destructif (CND) de pièces industrielles sans nuire à leur intégrité. Cela consiste à émettre des ondes acoustiques et à détecter leurs interactions avec des défauts présents dans la pièce. Les ondes ré-émises (écho) sont alors converties, en temps réel, en une image numérique du défaut ainsi localisé et caractérisé. Le CND est l'une des composantes du "manufacturing avancé". Contrôler lors de maintenance, pour déceler des défauts dans des matériaux, vérifier la conformité des soudures, etc.

Pendant l'émission, le capteur équipé d'éléments piézo-électriques émet des ultrasons à une fréquence (entre 500 kHz et 10 GHz) choisie en fonction de la nature de la pièce à contrôler. Il doit être en contact direct avec la pièce pour que les ondes propagées ne soient pas freinées par l'impédance de l'air. Grâce au pilotage électronique de l'orientation et des caractéristiques du faisceau ultra-sonore, la technologie multi-éléments est adaptée au contrôle de pièces à géométries complexes. Ce stage porte sur l'identification par réseau de neurones d'éventuels défauts sur des éléments de fixation (boulon, congé, filetage) dans un système critique.

L'identification de ces défauts se basera en particulier sur plusieurs mesures ultrason, réalisées in situ par les équipes de maintenance de différents sites industriels partenaires.

Pendant la réflexion, Les ondes se réfléchissent sur les interfaces acoustiques rencontrées : contours de la pièce, défauts intérieurs voire grains des matériaux. Selon la loi de Snell-Descartes, la réflexion observe un angle particulier. Les ondes subissent également d'autres phénomènes au cours de leur propagation dans la matière (diffraction, atténuation, etc.) [4].

Objectifs : Les objectifs (SMART) de cette étude sont les suivants :

1. (principal) : Être capable de reconnaître dans (au moins) 95 % des cas, les éléments de fixation présentant un défaut de type "fissure de stress corrosif" ou "fissure de fatigue" à partir notamment de mesures ultrason réalisées en routine par les équipes de maintenance.
2. Développer des algorithmes explicatifs permettant de visualiser les éléments qui ont eu un poids prépondérant dans la décision prise par le modèle de classer un élément de fixation comme défectueux.

Méthodologie Le réseau envisagé a priori pour cette étape est une architecture neuronal profonde de type convolutif (CNN) [3], avec pour entrée, une trentaine d'acquisition par canal formant une "image" multimodale [2]. Une transformation de type STFT (Short-Time Fourier Transform), MFCCs (Mel-frequency cepstral coefficients) ou wavelet pourra être appliquée sur le signal d'entrée (cf. Fig. 1) afin d'en faire ressortir les caractéristiques d'intérêt pour cette étude.

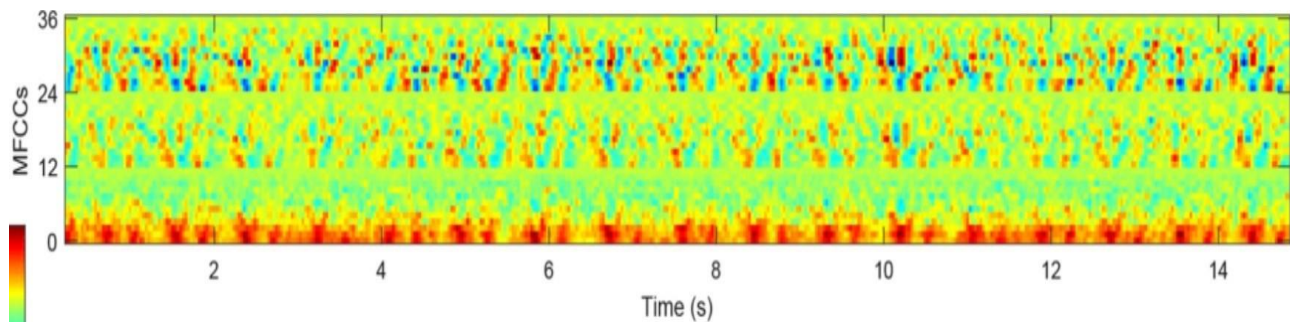


Figure 1 – Spectre temps fréquence obtenu par MFCC.

Phases du projet se présentent sous la forme de 4 tâches distinctes

1. POC (Proof of concept) Le but de cette phase est de valider la faisabilité du projet en se basant sur une brique IA simplifiée et les données d'apprentissage déjà existantes (étude rétrospective).

2. Développement du réseau multimodal robuste L'objectif de cette phase est d'améliorer la robustesse du modèle en intégrant l'ensemble des modes d'acquisition (6° PE /SER, 20° SER) au modèle [1]

3. Inclusion des données terrain

L'objectif de cette étape est d'élargir la base d'apprentissage de notre modèle de façon à réduire l'incertitude de modélisation (incertitude épistémique), en entraînant notre modèle sur une base élargie d'environ 3000 mesures disponibles, mais dont la labellisation pourrait être moins fiable.

4. Explicabilité

L'objectif de cette phase, est de développer un algorithme permettant de visualiser sur les données d'entrée les régions qui ont eu un poids prépondérant dans la décision prise par le modèle. Ce travail donnera lieu au rapport final.

Résultats attendus Des réseaux de neurones profonds seront entraînés dans le but de caractériser des défauts dans les signaux. Cette approche nécessite la création de bases de données conséquentes pour réaliser l'entraînement des réseaux. Pour réduire les contraintes expérimentales, le choix a été fait d'utiliser des données rétrospectives et prospectives pour valider cette approche. Une étude statistique du comportement de sortie des modèles sera menée permettant d'obtenir un indice de confiance dans l'estimation des sorties des modèles en fonction des valeurs données. Une procédure d'augmentation de données pourra être développée pour réduire le nombre de données à mesurer et constituer une nouvelle base de données d'entraînement.

Enfin, les mesures expérimentales vont permettre de valider l'approche adoptée en donnant des estimations précises des paramètres de défauts réels. Les résultats obtenus démontreront si la méthode proposée permet ou non de donner de meilleures estimations que les modèles actuels.

Profil et compétences recherchées Le candidat devra fournir un CV complet mentionnant son âge, ses notes depuis la 12e année de bachelor ainsi qu'une lettre de motivation. La personne recrutée devra justifier d'un diplôme d'ingénieur ou d'un Master, de solides connaissances en intelligence artificielle, par exemple en deep learning (DL), en réseaux de neurones profonds et en codage (Python, Cuda, C++). Des expériences de développement sur processeurs graphiques (GPU) seront très appréciées. Son anglais sera courant. Le candidat sélectionné aura la chance de travailler dans une équipe interdisciplinaire et avec un consortium de data scientists et de physiciens du solide.

Précisions sur l'encadrement

Le stagiaire sera co-encadré par J.-Ph. Conge, V. Vigneron et H. Maaref du département d'informatique de l'université Paris-Saclay. J.-Ph. Conge et V. Vigneron sont spécialistes de

machine learning et du traitement statistique des images. H. Maaref est un expert des modèles neuro-flous et de leur implémentation matérielle.

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Objectifs de valorisation des travaux : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle, etc.

L'objectif est de valider les résultats sur des bases de données industrielles et d'intégrer le modèle dans un logiciel d'application avec une interface compréhensible pour l'ingénieur. Les publications seront rédigées en vertu d'une convention sur les conclusions protégeant les auteurs du consortium et les droits de propriété intellectuelle seront soigneusement examinés à des fins d'innovation. La protection sera étendue à la base de donnée annotée qui sera utilisée pour l'apprentissage et la validation. Un processus de développement permettant d'accompagner la certification du dispositif sera mis en place. La direction veillera à ce que les travaux de recherche soient publiés sans interférer avec le processus de dépôt de brevet et la confidentialité des recherches.

Contact : Jean-Philippe Congé, Vincent Vigneron, Hichem Maaref
{vincent.vigneron,hichem.maaref}@ibisc.univ-evry.fr, congej@yahoo.fr

Références

- [1] Oktay Karakuş, Nantheera Anantrasirichai, Amazigh Aguersif, Stein Silva, Adrian Basarab, and Alin Achim. Detection of line artifacts in lung ultrasound images of covid-19 patients via nonconvex regularization. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 67(11) :2218–2229, 2020.
- [2] Ana Lopez, Ricardo Bacelar, Inês Pires, Telmo G. Santos, José Pedro Sousa, and Luísa Quintino. Non-destructive testing application of radiography and ultrasound for wire and arc additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 21 :298–306, 2018.
- [3] Maryam Najafabadi, Flavio Villanustre, Taghi Khoshgoftaar, Naeem Seliya, Randall Wald and Edin Muharemagic. Deep learning applications and challenges in big data analytics. *Journal of Big Data*, 2, 12 2015.
- [4] Shangqin Yuan and Xudong Yu. Ultrasonic non-destructive evaluation of selectively laser-sintered polymeric nanocomposites. *Polymer Testing*, 90 :106705, 2020.