



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mr NAJDI Boubker

Soutiendra : le Lundi 14/04/2025 à 10H00

Lieu : FSDM – Centre Visioconférence

Une thèse intitulée :

« Design and Development of Intelligent systems for Predictive Maintenance of Industrial Rotating Machinery »

En vue d'obtenir le Doctorat

FD : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication

Spécialité : Intelligence Artificielle et Industrie 4.0

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
KABBAJ Mohammed Nabil	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, USMBA, Fès	PES	Président
CHAFOUK Houcine	Université Rouen Normandie / ESIGELEC / IRSEEM	PES	Rapporteur
AYAD Hassan	Ecole Nationale des Sciences Appliquées, UCA, Marrakech	PES	Rapporteur
EL BEKKALI Chakib	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, USMBA, Fès	PES	Rapporteur
LEBBAR Maria	Ecole Nationale Supérieure des Mines, Rabat	PES	Examineur
SABRI My Abdelouahed	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, USMBA, Fès	PES	Examineur
EL KARI Badr	UEMF	MC	Invité
BENBRAHIM Mohammed	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, USMBA, Fès	PES	Directeur de thèse



Résumé :

Les machines tournantes, telles que les roulements, les boîtes de vitesses et les robots industriels, constituent l'épine dorsale de nombreux systèmes industriels, jouant un rôle essentiel dans l'efficacité opérationnelle et la sécurité. Ces composants fonctionnent souvent dans des conditions dynamiques et sévères, les rendant sujets à la dégradation et aux défaillances, ce qui peut entraîner des arrêts coûteux et des risques accrus pour la sécurité. La maintenance prédictive (PdM) est apparue comme une stratégie clé pour relever ces défis, en se concentrant sur la détection précoce des défauts et la prédiction de la durée de vie restante (RUL) des composants. En exploitant des techniques avancées de traitement du signal et d'apprentissage automatique, la PdM permet des interventions opportunes, réduisant ainsi les pannes imprévues et optimisant les calendriers de maintenance.

Cette thèse propose la conception et le développement de systèmes intelligents pour le diagnostic des défauts et la prédiction de la RUL des machines tournantes industrielles. La recherche porte sur l'intégration de méthodologies avancées de traitement du signal, telles que la transformation en ondelettes à réallocation synchrone (Synchrosqueezing Wavelet Transform - SSWT), avec des modèles d'apprentissage profond de pointe, notamment les réseaux de neurones convolutifs (CNN), les réseaux résiduels (ResNet) et les réseaux de mémoire à long terme (LSTM). De plus, l'utilisation de la régression par processus gaussiens (GPR) pour des prédictions précises des séries temporelles est explorée. Cette recherche aborde des défis majeurs, notamment la gestion des signaux non stationnaires, l'adaptation aux conditions de fonctionnement variables et la gestion de la complexité des données multi-capteurs, avec pour objectif d'améliorer la robustesse et la précision des stratégies de maintenance prédictive.

Les contributions de cette thèse sont triples : (1) le développement de méthodologies avancées pour le diagnostic des défauts des roulements en utilisant SSWT et des architectures d'apprentissage profond, (2) l'application de techniques de fusion de données multi-capteurs pour diagnostiquer des défauts composés dans des systèmes complexes tels que les boîtes de vitesses et les robots industriels, et (3) la conception de modèles hybrides pour la prédiction de la RUL, intégrant un étiquetage exponentiel des données pour une meilleure précision. Les validations expérimentales sur des jeux de données de référence démontrent la supériorité des méthodes proposées par rapport aux approches existantes de l'état de l'art.

Les résultats de cette recherche font progresser le domaine de la maintenance prédictive en fournissant des solutions fiables, adaptatives et efficaces pour la surveillance et la gestion de l'état des équipements tournants industriels. Ces solutions ont le potentiel de réduire considérablement les temps d'arrêt, d'optimiser les pratiques de maintenance et de prolonger la durée de vie opérationnelle des machines critiques, contribuant ainsi à des opérations industrielles plus sûres et plus efficaces.

Mots clés :

Maintenance prédictive, Diagnostic des défauts, Prédiction de la durée de vie restante, Apprentissage profond, Traitement du signal



DESIGN AND DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS FOR PREDICTIVE MAINTENANCE OF INDUSTRIAL ROTATING MACHINERY

Abstract :

Rotating machinery, such as bearings, gearboxes, and industrial robots, forms the backbone of numerous industrial systems, playing a critical role in ensuring operational efficiency and safety. These components often operate under dynamic and harsh conditions, making them prone to degradation and failure, which can result in costly downtime and heightened safety risks. Predictive maintenance (PdM) has emerged as a pivotal strategy to address these challenges, focusing on early fault detection and the prediction of the Remaining Useful Life (RUL) of components. By leveraging advanced signal processing and machine learning techniques, PdM enables timely interventions, reducing unexpected failures and optimizing maintenance schedules.

This thesis proposes the design and development of intelligent systems for fault diagnosis and RUL prediction in industrial rotating machinery. The research focuses on integrating advanced signal processing methodologies, such as the Synchrosqueezing Wavelet Transform (SSWT), with cutting-edge deep learning models, including Convolutional Neural Networks (CNN), Residual Networks (ResNet), and Long Short-Term Memory (LSTM) networks. Additionally, the use of Gaussian Process Regression (GPR) for accurate time-series predictions is explored. This research tackles key challenges, including handling non-stationary signals, adapting to varying operational conditions, and managing the complexity of multi-sensor data, aiming to enhance the robustness and accuracy of predictive maintenance strategies.

The contributions of this thesis are threefold: (1) the development of advanced methodologies for fault diagnosis in bearings using SSWT and deep learning architectures, (2) the application of multi-sensor data fusion techniques to diagnose compound faults in complex systems like gearboxes and industrial robots, and (3) the design of hybrid models for RUL prediction, incorporating exponential data labeling for improved accuracy. Experimental validations on benchmark datasets demonstrate the superior performance of the proposed methods compared to existing state-of-the-art approaches.

The findings of this research advance the field of predictive maintenance by providing reliable, adaptive, and efficient solutions for monitoring and managing the health of industrial rotating equipment. These solutions have the potential to significantly reduce downtime, optimize maintenance practices, and extend the operational lifespan of critical machinery, ultimately contributing to safer and more efficient industrial operations.

Key Words :

Predictive maintenance, Fault Diagnosis, Remaining Useful Lifetime Prediction, Deep Learning, Signal Processing