



Sujet de thèse

Contribution à la surveillance des réducteurs par l'analyse des signaux de courant

Durée : 36 mois (Sep. 2022-Sept. 2025)

École Doctorale : ED 488 Sciences, Ingénierie, Santé

Laboratoires : Laboratoire d'analyse des signaux et des processus industriels (<https://laspi.univ-st-etienne.fr/>)

Directeur de Thèse : Abdenour SOUALHI

Co-directeur : El badaoui Mohamed

Mots-clefs : Diagnostic, machine learning, jumeau numérique, analyse des signaux électriques.

Adresse mail contact : abdenour.soualhi@univ-st-etienne.fr

Objectifs et hypothèses scientifiques

Cette thèse propose de développer une approche basée sur l'exploitation des signaux électriques pour assurer la fiabilité et la sûreté de fonctionnement des ponts polaires. Cette approche sera réalisée en deux étapes : la première étape traitera les signaux électriques dans le but d'extraire des indicateurs de dégradation et la deuxième étape intégrera ces indicateurs dans le jumeau numérique via des modèles d'intelligence artificielle pour le diagnostic et pronostic de pannes. Cette approche rentre dans une démarche d'amélioration de la maintenance préventive conditionnelle (MPC) des ponts polaires et plus précisément la MPC des réducteurs.

Les méthodes envisagées feront appel à la connaissance électrique et mécanique du système moteur-réducteur, à des techniques de traitement du signal pour l'extraction d'indicateurs pertinents et enfin à de l'intelligence artificielle pour l'interprétation des résultats. Elles mettront en œuvre des méthodes de traitement de données (classification supervisées et non supervisées) pour la surveillance des différents modes de défaillance des réducteurs (défaut d'engrènement, roulement) et en particulier, l'apparition simultanée de ces défauts. Le choix de privilégier les réducteurs résulte du fait que ce sont des composants essentiels et critiques dans le fonctionnement des ponts polaires. Ils sont non seulement coûteux, mais nécessitent généralement des temps de réparation de plusieurs heures/jours.

En plus du traitement des signaux électriques pour extraire des indicateurs de dégradation, le développement de nouveaux modèles pour le diagnostic et pronostic seront proposés. Ces modèles reposeront sur l'intelligence artificielle par la reconnaissance des formes (RdF). L'objectif de la RdF est de faire correspondre les échantillons de mesure à des formes type. Les formes type sont en réalité des ensembles d'échantillons qui occupent des zones géométriques de l'espace de représentation appelées classes, où sont regroupées les échantillons semblables. Les classes correspondent à l'état de santé du réducteur. Le fait de détecter une nouvelle classe revient à détecter un nouveau mode de fonctionnement et le fait de classer un échantillon dans l'une de ces classes revient à identifier l'état du réducteur.

Originalité et pertinence par rapport à l'état de l'art

L'originalité de ce projet se situe dans les méthodes proposées pour la surveillance des réducteurs en régime statique et dynamique (variation de vitesse et de charge). Ces dernières seront basées sur l'analyse des signaux électriques (tension, courant) acquis à partir des moteurs

utilisés pour l'entraînement. En effet, la méthode la plus couramment utilisée pour la surveillance des systèmes mécaniques est l'analyse vibratoire. Cependant, cette méthode nécessite la mise en place de capteurs à plusieurs endroits difficiles d'accès, ce qui augmente les coûts. Comme alternative, l'analyse de signaux électriques est proposée dans ce projet. L'analyse des signaux électriques peut être une bonne approche pour le diagnostic comme le démontre [1], [2] qui ont utilisé les courants et tensions stator pour surveiller les défauts mécaniques, tels que le déséquilibre rotor en surveillant les changements dans les harmoniques des signaux électriques.

Positionnement du projet

La MPC comprend l'acquisition des signaux de mesure, le traitement de ces signaux et leur modélisation pour l'évaluation de l'état de santé (détection, diagnostic et pronostic), et la prise de décision (arrêter le système, ou proposer une alternative afin de le maintenir en état de service). Les techniques utilisées dans la MPC (traitement du signal, diagnostic et pronostic) sont bien connues dans la littérature et la recherche dans ce domaine se développe très rapidement. Plusieurs documents de recherche dans ce domaine, y compris le développement théorique et les applications pratiques apparaissent chaque année [3-5]. Cependant, ce n'est que dernièrement que les techniques de MPC ont été mises en place sur les réducteurs afin de réaliser l'optimisation de la maintenance. Concernant notre problématique, la seule méthode connue à ce jour pour détecter les défauts dans les réducteurs passe par une analyse vibratoire, thermique ou tribologique (analyse de l'huile). Comme indiqué ci-dessus, des techniques plus avancées restent à mettre en place pour l'optimisation de la MPC des réducteurs.

Méthodologie

En plus de développer la partie traitement du signal pour l'analyse des signaux électriques issue du variateur alimentant le moteur d'entraînement du réducteur, le projet permettra de mettre en place des modèles discrets faisant abstraction des variables d'états et ne représentant que les états fonctionnels du réducteur. Il sera construit sur ces modèles des méthodes de diagnostic et pronostic. Pour atteindre cet objectif, nous proposons d'utiliser la Reconnaissance des Formes (RdF). L'objectif de la RdF est de classer une observation mesurée dans une forme en la comparant à des formes type. Une forme est constituée d'un ensemble d'observations mesurées à partir d'un système à un instant donné. Une telle forme, est représentée par plusieurs points dans un espace multidimensionnel à q -indicateurs. Le vecteur indicateur est constitué d'un ensemble de q -indicateurs obtenus en utilisant les différentes techniques d'analyse (analyse temporelle, fréquentielle, temps-fréquence) des signaux de mesure recueillis à partir du moteur. Ceci permet de caractériser chaque observation à un instant donné par l'ensemble des indicateurs.

L'espace de représentation est construit sur la base d'un vecteur d'indicateurs sensible aux défauts du système pour une meilleure discrimination des classes. Les formes type sont en réalité des ensembles de points occupant des zones géométriques de l'espace de représentation appelées classes, où sont regroupées des formes semblables. Les classes correspondent aux modes de fonctionnement connus et inconnus du système. Le fait de détecter une nouvelle classe revient à détecter un nouveau mode de fonctionnement et le fait de classer une nouvelle observation revient à identifier un de ces modes.

Dans le cas du diagnostic, ces modes de fonctionnement peuvent représenter les différents types de défauts qu'un système peut rencontrer durant son fonctionnement. Ces modes peuvent aussi représenter un seul type de défaut, mais avec différents niveaux de charge.

Dans le cas du pronostic, ce dernier peut être défini comme une extension du problème de diagnostic. Le pronostic consiste à prédire l'évolution d'une situation de défaut jusqu'à la défaillance totale du système. Ceci peut se traduire par la prédiction de l'imminence d'un défaut et l'estimation de sa durée de vie restante. L'objectif de ce projet est de dégager des méthodes de prédiction capables de détecter l'imminence d'un défaut et d'estimer le temps restant avant



son apparition. Sur cette base, nous retenons les modèles de Markov cachés et les systèmes neuro-flous comme techniques fondatrices pour les méthodes de pronostic.

Profil du candidat recherché (prérequis) :

Le candidat aura un cursus de formation généraliste en mécanique/ électromécanique. Une première expérience en traitement du signal sera appréciée de même que des connaissances sur le datamining (méthodes de classification).

Objectifs de valorisation des travaux de recherche :

1. Forme : publication, brevets, autres : Publication et conférences internationales, le dépôt d'un brevet peut être envisageable selon la direction que prendra la thèse.

2. Volume de publications (conférence/revues, etc), brevets, autres : 1 revue internationale à comité de lecture, 1 conférence internationale et 1 conférence nationale par année à partir de la deuxième année.

Compétences qui seront développées au cours du doctorat :

Modélisation et simulation de dispositifs mécaniques/ électromécaniques, développement de systèmes embarqués, développement d'un modèle de diagnostic en temps réel, développement d'un banc d'essai.

Planning

Une synthèse du déroulement de la thèse est donnée dans la dernière page de ce document.

Perspectives professionnelles après le doctorat :

Carrière dans le secteur privé (développement et recherche) ou dans le secteur public (chercheur, enseignant-chercheur).

Références bibliographiques sur le sujet de thèse :

- [1] X. Pang, X. Xue, W. Jiang and K. Lu, "An investigation into fault diagnosis of planetary gearboxes using a bispectrum convolutional neural Network," in *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 26, no. 4, pp. 2027-2037, Aug. 2022.
- [2] J. M. Ha, J. Park, K. Na, Y. Kim and B. D. Youn, "Toothwise fault identification for a planetary gearbox based on a health data map," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 7, pp. 5903-5912, July 2018.
- [3] DidemGürdür Broo, Miguel Bravo-Haro, and Jennifer Schooling, "Design and implementation of a smart infrastructure digital twin," in *Automation in Construction*, vol. 136, pp. 104171, 2022.
- [4] Feng Jiang, Ling Ma, Tim Broyd, Weiya Chen, and Hanbin Luo, " Building digital twins of existing highways using map data based on engineering expertise, " in *Automation in Construction*, vol. 133, pp. 104081, 2022.
- [5] Helena Solman, Julia Kirch Kirkegaard, Mattijs Smits, Bas Van Vliet, and Simon Bush, "Digital twinning as an act of governance in the wind energy sector, " in *Environmental Science & Policy*, vol. 127, pp. 272-279, 2022.

1 ère année										2 ème année										3 ème année																						
Rapports d'avancement																				Rédaction					Soutenance																	
État de l'art bibliographique sur l'approche jumeau numérique et les méthodes de diagnostic des défauts de d'engrènement et roulement										Intégration de l'approche modèle-données dans le jumeau numérique																																
Biblio. Gen.					Biblio. Spec.					Veille bibliographique																																
										Mise en place de la stratégie de surveillance																																
Pré-solutions					Sol. Principale					Modélisation sol.																																
										Extraction d'indicateurs de dégradation en vue de leur intégration dans le jumeau numérique																																
Environnement					outils					Banc d'essais																																
										Validation et test expérimentaux.																																
																				Publications																						
										Article Biblio.										Articles																						
																				Rédaction																						
																				Plan		Document																				
																																			Soutenance							

