

Machine Learning Modeling for Motor Fault Detection

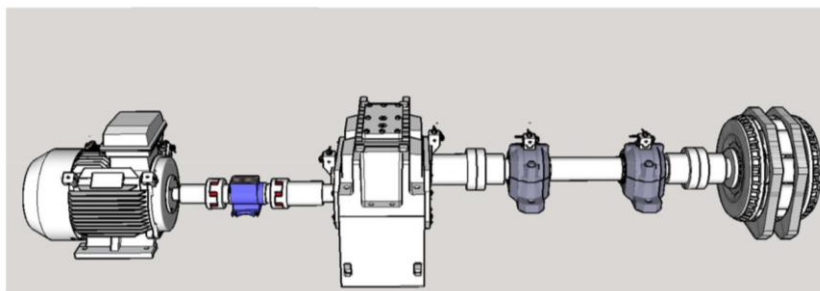
[นางสาวแพรวรุ่ง ประทีป, รหัสนักศึกษา 63340500044]

Problem Statement and Introduction

มอเตอร์นั้นเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ขับเคลื่อนที่สำคัญชนิดหนึ่ง ที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตและอื่น ๆ ในการใช้งานมอเตอร์นั้นจำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงรักษาทันทีเมื่อเกิดการทำงานที่ผิดปกติ เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพและยืดอายุการใช้งานของตัวมอเตอร์และเครื่องจักร และ สัญญาณที่บ่งบอกถึงความผิดปกติของมอเตอร์นั้นมีทั้งหมด 3 รูปแบบ

1. ความร้อน โดยความร้อนนั้นเกิดได้จากการ เลือกใช้มอเตอร์ที่ไม่เหมาะสมกับงาน เช่น มีแรงบิดไม่เพียงพอส่งผลให้กระแสสูงขึ้น ระบบระบายความร้อนมอเตอร์ไม่ดี แหล่งจ่ายไฟของมอเตอร์มีปัญหา ปัญหาเหล่านี้จะก่อให้เกิดความร้อน และ มอเตอร์ไหม้ได้ในที่สุด
2. เสียงดัง อาการเสียงดังของมอเตอร์นั้นอาจเกิดจากการเสียดสีภายในระหว่างอุปกรณ์ทำให้เกิดเสียง หรือ มาจากลูกปืนมอเตอร์เกิดความผิดปกติ เช่น จาระบีแห้ง ทำให้ลูกปืนที่หมุนด้วยความเร็วสูงทำให้เกิดเสียงหอน หรือ ลูกปืนเริ่มละลายทำให้เกิดเสียงดัง ซึ่งอาจส่งผลให้มอเตอร์ไหม้ได้
3. การสั่นสะเทือน สาเหตุส่วนใหญ่มาจากกาจัดแนว (Alignment) ไม่ดี ซึ่งในช่วงแรกระบบอาจจะทำงานได้ปกติ แต่เมื่อผ่านไปสักระยะจะเริ่มเกิดเสียง และมีการสั่นเกิดขึ้น อาจทำให้ฐานมอเตอร์เริ่มคลายออก เมื่อปล่อยให้เกิดปัญหาเป็นเวลานานอาจส่งผลให้ลูกปืนแตก ความร้อนเกิดขึ้น ทำให้ มอเตอร์พังได้ในที่สุด

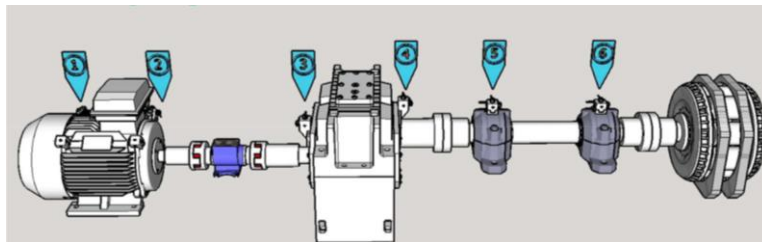
ในการดำเนินงานครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของมอเตอร์ว่าทำงานเป็นไปอย่างปกติหรือไม่ โดยใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จาก Vibration Sensor



ภาพที่ 1 Motor and transmission System Testbed

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลการสั่นสะเทือนที่วัดจาก Motor and transmission System Testbed มีองค์ประกอบดังนี้

1. มอเตอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวส่งกำลังที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ด้วยอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์
2. ชุดเกียร์ทดกำลัง ใช้สำหรับศึกษาและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในระบบส่งกำลัง
3. ชุดเพลาขับ ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน กรณีที่ระบบเกิดความไม่สมดุล และ เกิดการเอียงศูนย์
4. ระบบโหลดเทียม ใช้สร้างแรงต้านให้กับระบบเพื่อสร้างสภาวะโหลดในระดับต่าง ๆ



ภาพที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้ง Vibration Sensor เบื้องต้น

โดยในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นนั้นจะมีปรับระบบให้เกิดความผิดปกติในรูปแบบต่างๆ และทำการเก็บสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้จาก Vibration Sensor ในตำแหน่งต่าง ๆ ดังภาพที่ 2 โดยข้อมูลที่ได้นั้นจะนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลในการสร้าง Machine Learning Model เพื่อใช้ในการทำนายหาความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับระบบ

Background Study

ในการที่จะสร้างระบบที่ตรวจสอบสถานะการทำงานของมอเตอร์นั้น จำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงระบบการทำงานของมอเตอร์ และระบบ รูปแบบของข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จาก Vibration Sensor แนวทางในการวิเคราะห์สัญญาณ รูปแบบของ Machine Learning Model ที่เหมาะสม

ลักษณะของเหตุการณ์ที่ทำให้มอเตอร์เกิดการ ทำงานอย่างผิดปกติ

1. การเอียงศูนย์ (Misalignment) เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น การประกอบชิ้นส่วนกลไกได้อย่างไม่เที่ยงตรง ทำให้เกิดการเลื่อนตำแหน่งหลังจากประกอบเสร็จ ส่งผลให้เกิดความเสียหายได้ ทั้งนี้รูปแบบของการเชื่อมต่อระหว่างแกนหมุนกับเพลาซึ่งไม่ได้แนวนั้นแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ
 - 1.1. การเอียงศูนย์เชิงมุม เป็นลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างแกนหมุนของมอเตอร์ กับเพลาหมุนของเครื่องจักรที่ไม่ได้แนวนตรง แต่ทำมุมระหว่างกัน ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการติดตั้งระบบไม่ดี หรือเกิดการเลื่อนตำแหน่งเลื่อนระยะห่างทำมุมค่าใดค่าหนึ่งระหว่างกัน การเชื่อมต่อที่ไม่ได้แนวนแบบเชิงมุมนี้จะสร้างโมเมนต์การโก่งตัวขึ้นที่แกนหมุน และส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นในอัตราตั้งแต่ 1 เท่า ไปจนถึง 2 เท่าของความเร็วรอบ
 - 1.2. การเอียงศูนย์แนวขนาน เกิดขึ้นเมื่อแนวศูนย์กลางของเพลาทั้ง 2 ขนานกัน แต่ไม่ได้อยู่ในแนวขนานเดียวกัน
 - 1.3. การเอียงศูนย์แบบผสม (Combination Misalignment) คือเกิดการเอียงศูนย์ทั้งในแบบเชิงมุม และแนวขนาน เมื่อความเร็วรอบของเครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลง จะส่งผลให้ระดับการสั่นสะเทือนซึ่งเกิดการ

ความไม่สมดุลของเพลاهมุนเพิ่มขึ้นเป็นกำลังสองเท่าของความเร็วรอบ ยกตัวอย่างเช่น หากความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 2 เท่า จะส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นได้ถึง 4 เท่า

ข้อมูลเบื้องต้นของการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนและเครื่องมือในการวิเคราะห์

1. การวัดระยะทางของการสั่นสะเทือน (Displacement) นิยมวัดเป็นมิลลิเมตร (mm) หรือนิ้ว วัดแบบเต็มคลื่น (Peak to Peak) ใช้กับการเคลื่อนที่ที่มีความเร็วรอบต่ำ ๆ ระหว่าง 1000-1200 RPM หรือ ประมาณ 20 Hz
2. การวัดความเร็ว (Velocity) เป็นการวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุที่สั่นสะเทือนว่ามีความเร็วเท่าไรในแต่ละรอบของการสั่นสะเทือน โดยปกตินิยมวัดเป็นมิลลิเมตร/วินาที และนิ้ว/วินาที ในการวัดความเร็วเรามักจะวัดแบบ RMS นิยมวัดการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ระหว่าง 20Hz -1,000Hz (หรือความเร็วรอบในการหมุนที่สูงกว่า 1, 200 rpm)
3. การวัดอัตราเร่ง (Acceleration) คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของความเร็วในการเคลื่อนที่ต่อหน่วยเวลาของวัตถุที่มีการสั่นสะเทือน วัดการสั่นสะเทือนที่ความถี่สูงคือตั้งแต่ 10,000 Hz ขึ้นไปการสั่นสะเทือนที่ความถี่สูงนั้นระยะทางการเคลื่อนที่จะน้อยและใน ขณะเดียวกันความเร็วในการเคลื่อนที่จะสูงมาก
4. FFT ย่อมาจาก Fast Fourier Transform เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดกับความถี่ในแต่ละความถี่ โดยทำการแปลงจากโดเมนของเวลา หรือ waveform มาอยู่ในรูปของโดเมนของความถี่ หรือ spectrum
5. Spectrogram คือ ภาพหรือแผนภาพของ spectrum ของคลื่น หรือ สัญญาณโดยจะแสดงข้อมูลทั้งในรูปแบบของเวลา ความถี่ และ แอมพลิจูด

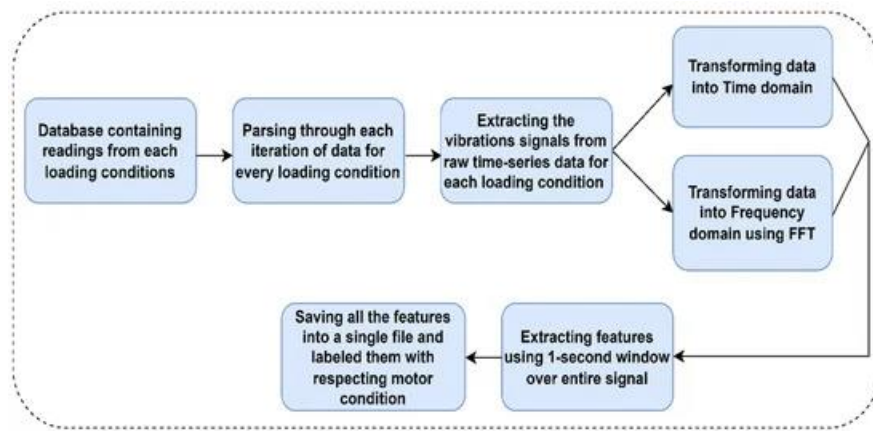
Model

1. Classification Model เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่จัดอยู่ในโมเดลประเภท Supervised Learning Model จะต้องมีการ Target ไว้สำหรับให้ตัว Model เรียนรู้จาก Input Data เพื่อหาคำตอบออกมาตาม Target ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นในรูปแบบของการจำแนกข้อมูลเพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นตัวเลือกหรือกลุ่มข้อมูล ตัวอย่างโมเดล Logistic Regression, Decision Tree, Random Forest, K-Nearest Neighbors เป็นต้น
2. Convolutional Neural Network (CNN) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งในกลุ่ม bio-inspired โดยหลักการทำงานของ CNN คือ จะทำการมองข้อมูลย่อยเป็นส่วนๆ เพื่อสกัดเอาส่วนต่างๆ ของข้อมูลออกมา เพื่อให้โมเดลทำการเรียนรู้

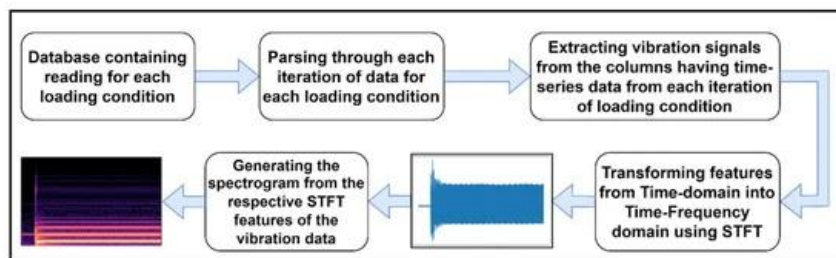
Literature Review

1. Fault Detection in Induction Motor Using Time Domain and Spectral Imaging-Based Transfer Learning Approach on Vibration Data

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า พบว่าจะดำเนินงานโดยการ นำสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้จาก Vibration sensor มาผ่านการทำ Feature Extraction เพื่อให้ข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้งานได้ ใน Machine Learning ซึ่งในการ จำแนกความผิดปกติของมอเตอร์โดยใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนนั้นจะนิยม ทำ Feature Extraction จาก สัญญาณที่เป็น Time Domain ตัวอย่าง Feature เช่น ค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน RMS ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น และยังมีการทำ Feature Extraction จาก สัญญาณที่เป็น Frequency Domain โดยจะทำการนำสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้ ไปผ่าน Fast Fourier Transform (FFT) ผลลัพธ์ของสัญญาณที่ได้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ใน Frequency Domain ตัวอย่าง Feature ที่ได้จาก Frequency Domain เช่น ความถี่ที่มีค่าสูงสุด และในบางงานวิจัยมีการใช้เทคนิคอื่นเช่น นำสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้ไป เปลี่ยนให้เป็นภาพ Spectrograms ของสัญญาณ และนำเทรนโดยใช้ CNN



ภาพที่ 3 ภาพการดำเนินงานในการทำ feature extraction ของ time domain และ frequency domain จากงานวิจัย



ภาพที่ 4 ภาพการดำเนินงานในการสร้างภาพ spectrogram จากสัญญาณการสั่นสะเทือน

ผลที่ได้จากการ Train model ของ time domain และ frequency domain from จากงานวิจัย

×

Table 2. Performance measures and comparison of different algorithms for time domain and frequency domain features.		
Classification Models	Test Accuracy (%)	
	Using Time-Domain Features	Using Frequency-Domain Features
K-Nearest neighbors	77.37	80.53
Decision Tree	83.80	81.71
Random Forest	86.80	85.92

ผลที่ได้จากการ Train CNN โดยใช้ spectrogram

×

Table 4. Show the classification reports of transfer learning CNN network used.					
Classification report of VGG16 model	Condition	Precision	Recall	F1-score	Support
	1 broken bar (r1b)	0.99	0.91	0.95	54
	2 broken bar (r2b)	0.99	0.92	0.96	65
	3 broken bar (r3b)	0.85	1.00	0.92	57
	4 broken bar (r4b)	0.98	0.94	0.96	67
	Healthy rotor (rs)	0.95	0.98	0.97	57
	Avg. Accuracy			0.95	
Classification report of InceptionV3 model	1 broken bar (r1b)	0.91	0.91	0.91	54
	2 broken bar (r2b)	0.97	0.94	0.95	65
	3 broken bar (r3b)	0.96	0.96	0.96	57
	4 broken bar (r4b)	0.93	0.93	0.93	67
	Healthy rotor (rs)	0.93	0.96	0.95	57
	Avg. Accuracy			0.94	
Classification report of Inception_ResNetV2 model	1 broken bar (r1b)	0.85	0.93	0.88	54
	2 broken bar (r2b)	0.97	0.91	0.94	65
	3 broken bar (r3b)	0.86	0.99	0.93	57
	4 broken bar (r4b)	0.97	0.84	0.90	67
	Healthy rotor (rs)	0.98	0.96	0.97	57
	Avg. Accuracy			0.92	
Classification report of MobileNetV2 model	1 broken bar (r1b)	0.95	0.98	0.96	54
	2 broken bar (r2b)	0.95	0.95	0.95	65
	3 broken bar (r3b)	0.99	0.96	0.98	57
	4 broken bar (r4b)	0.99	0.99	0.99	67
	Healthy rotor (rs)	0.99	0.99	0.99	57
	Avg. Accuracy			0.98	

Conceptual Design

- การจัดการข้อมูล

ทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากสัญญาณว่ามีความผิดปกติหรือไม่ ทำการเลือกความยาวของข้อมูลที่สนใจ ทำการปรับความละเอียดของข้อมูล เป็นต้น

- Feature Extraction

ทำ Feature Extraction ทั้งในรูปแบบของ time domain และ frequency domain

- Model

ทำการทดสอบตัวอย่างข้อมูลกับ Model แต่ละรูปแบบเพื่อหาโมเดลที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำนายผล

Learning Plan

1. ทำการศึกษาเกี่ยวกับสัญญาณ Vibration และ ลักษณะความผิดปกติของมอเตอร์
2. ศึกษาแนวทางการนำสัญญาณ Vibration ที่ได้มาทำการ extract features
3. เรียนรู้การสร้างโมเดล Machine learning โดยใช้ tensorflow, scikit-learn
4. ทำการสร้าง Model machine learning ที่ใช้ในการทำนายคลาสของมอเตอร์โดยใช้ตัวอย่างสัญญาณจาก Site

Team, Task, Process

Tasks	Start Date	End Date
1. ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง <ul style="list-style-type: none">- ทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญญาณการสั่นสะเทือน- ทำความเข้าใจกับความผิดปกติของมอเตอร์ในแต่ละรูปแบบ	22/02/2566	08/03/2566
2. ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็น Time series และรูปแบบ Model ที่เหมาะสม	08/03/2566	15/03/2566
3. เรียนรู้การสร้างโมเดล Machine learning โดยใช้ tensorflow, scikit-learn	15/03/2566	29/03/2566
4. ทำการสร้าง Model machine learning โดยใช้ Dataset จาก site	29/03/2566	-