تشخيص أعطال محركات PMSM باستخدام صور Scalogram Wavelet والشبكات العصبية الالتفافية

استخدام الشبكات العصبية الالتفافية (CNN) لتحليل صور Scalogram Wavelet في تشخيص أعطال محركات PMSM

«اسم الجامعة - الكلية» . «القسم / الاختصاص»

إعداد الطالبين: **ملهم فتنة . محمد زين قباني**

إشراف: **«د. اسم المشرف»** . العام الدراسي: **«2025-2026»**

---

١. المشكلة

- محركات **PMSM** تشغّل السيارات الكهربائية والروبوتات وأنظمة التحكم الصناعية ومُشغّلات الطيران.
- أكثر أعطال العضو الثابت شيوعاً - **القصر بين اللفات (inter-turn)** - قد يتطوّر إلى انهيار كامل للملف خلال دقائق.
- الهدف: **كشف الأعطال آلياً وباكراً** من إشارات المحرك نفسه.
- الطرق التقليدية (تحليل طيف التيار) تتطلّب خبيراً يعرف مسبقاً أيّ تردد يراقب، وتضعف عند تغيّر السرعة والحمل.

---

٢. الفكرة

تحويل مشكلة **الإشارة** إلى مشكلة **صورة**.

الإشارة -> تقطيع -> CWT -> صورة Scalogram -> CNN -> تصنيف الحالة
(تيار/اهتزاز) (مويجة Morlet (224x224) سليم / عطل بين اللفات

- الشبكة **تتعلّم** بصمات العطل بنفسها - دون هندسة سمات يدوية.
- قناتان مدروستان: **تيار العضو الثابت والاهتزاز**.

---

٣. منظومة المعالجة

- **المصادر:** مجموعة بيانات KAIST الحقيقية (تيار + اهتزاز)، ومولّد إشارات اصطناعي، ومحاكاة FOC MATLAB) + Simscape).
- **ملف إعدادات واحد + بيان (manfiest) واحد** يربط: إشارة -> scalogram -> تصنيف -> تقسيم - قابل للتكرار بالكامل.
- مُنفَّذة بلغة Python، (TensorFlow/Keras)، (PyWavelets دون الحاجة إلى MATLAB، مع **٣٨ اختبار وحدة + تكامل مستمر (CI)**.

---

٤. محرك PMSM وأعطاله

- PMSM: دوّار بمغناطيس دائم يتعقّب الحقل الدوّار للعضو الثابت -> يدور **بشكل متزامن**، بلا انزلاق -> كفاءة عالية.
- يُقاد عبر **التحكم الموجّه حقلياً (FOC)** - وحسّاسات التيار موجودة أصلاً في المُشغّل.

- الأعطال المدروسة:
  - **القصر بين اللفات** (الأساسي، بيانات حقيقية)
  - **إزالة المغنطة، الحمل الزائد** (اصطناعية)

---

٥. لماذا المويجات وليس فورييه؟

- تحويل فورييه **أعمى زمنياً** - لا يخبرنا متى يحدث التردد.
- إشارات الأعطال **غير مستقرة** (عابرة، تعتمد على الحمل).
- مبدأ عدم اليقين: Deltaf . Deltat =< ثابت - يستحيل دقّة زمنية وترددية مثاليّتان معاً.
- **المويجات** = موجات قصيرة موضعية <- دقّة ترددية متغيّرة، مثاليّة للظواهر العابرة.

---

٦. تحويل المويجات المستمر (CWT) ومخطط الطيف

- نُقيّس مويجة **Morlet** (مقبض التردد) ونُزلقها (مقبض الزمن).
- كلّ معامل = **تشابه** الإشارة مع تلك الموجة عند ذلك الزمن.
- **Scalogram** = صورة ملوّنة للطاقة مقابل الزمن (س) والتردد (ص).
- الحُزَم والنطاقات الجانبية الساطعة = بصمات العطل التي تراها الشبكة.

---

٧. أمثلة على المخططات (بيانات KAIST الحقيقية)

٩. تقسيم خالٍ من التسرّب

- التقسيم حسب **التسجيل** لا حسب المقطع <- لا نوافذ مترابطة بين التدريب/الاختبار (لا تسرّب بيانات).
- مُصنّف حسب الفئة، **لكل قناة**، بنسبة 70 / 15 / 15.
- انتباه خاص: **4 تسجيلات سليمة فقط** <- نضمن تسجيلاً واحداً على الأقل في كل قسم ليكون كل صنف قابلاً للتقييم.

---

١٠. اختلال توازن الأصناف - القضية الجوهرية

- **4 تسجيلات سليمة** مقابل ~60 تسجيل معطوب.
- التدريب الساذج <- النموذج يتنبّأ "معطوب" دائماً: **"دقة" 80% لكن كشف صفري للسليم.**
- الحل: **خفض عيّنة الأغلبية في التدريب/التحقق**، وإبقاء **الاختبار طبيعياً.**
- نُبلِّغ **الدقة المتوازنة** و **macro-F1**، لا الدقة الخام.

---

١١. بنية الشبكة العصبية الالتفافية

224x224x3
Pool >- Conv128 >- Pool >- Conv64 >- Pool >- Conv32 >-
Softmax >- Dense128 >- Dropout(0.5) >- Flatten >-

- المُحسِّن ،Adam خسارة الإنتروبيا المتقاطعة، إيقاف مبكر، تعزيز بيانات.
- نموذج **الدمج (fusion)**: فرعان (تيار + اهتزاز) <- تجميع متوسّط عام <- دمج <- طبقة كثيفة.

---

١٢. النتائج - بيانات حقيقية

القناة	المتوازنة الدقة	macro-F1	السليم استدعاء	العطل استدعاء
الاهتزاز	**1.00**	**1.00**	1.00	1.00
الدمج (تيار+اهتزاز)	0.88	0.76	1.00	0.75
التيار	0.69	0.49	1.00	0.37

تسجيلات محجوزة للاختبار، التمييز: سليم مقابل عطل بين اللفات.

---

١٣. مصفوفات الالتباس

الاهتزاز مثالي؛ التيار يُخطئ معظم الأعطال؛ الدمج بينهما.

---

١٤. التحليل

- **الاهتزاز » التيار** لكشف العطل بين اللفات - متوقّع فيزيائياً (الاهتزاز يستجيب مباشرة، وFOC يُخمد بصمة التيار).
- **الدمج** يتفوّق على التيار وحده لكن ليس على الاهتزاز وحده.
- **اختيار المقياس مهم**: الدقة المتوازنة كشفت انهيار صنف الأغلبية الذي تُخفيه الدقة الخام.

Real