المحتويات

دليل الاستعداد للمناقشة - تشخيص أعطال PMSM (المخططات الطيفية + CNN) **1**
1. العرض التعريفي في 60 ثانية 1
2. المفاهيم الأساسية (كن قادراً على شرح كلٍّ بأسلوبك) 2
2.1 محرك PMSM 2
2.2 الأعطال 2
2.3 لماذا قد يتفوّق الاهتزاز على التيار 2
2.4 فورييه مقابل المويجات 2
2.5 CWT ومويجة Morlet 2
2.6 المخطط الطيفي 3
2.7 الشبكة العصبية الالتفافية 3
2.8 المقاييس والمزالق 3
2.9 تسرّب البيانات والتقسيم 3
2.10 معالجة اللاتوازن 3
3. تفاصيل المشروع وأرقامه (احفظها) 3
4. بنك أسئلة المناقشة (أسئلة متوقّعة + إجابات قوية) 4
5. قائمة "يجب أن تشرحه على السبّورة" 6
6. أسئلة "الفخّ" المحتملة (والإجابة الأمينة) 6
7. أين تجد الأشياء (لعرض حي أثناء المناقشة) 6

دليل الاستعداد للمناقشة - تشخيص أعطال PMSM (المخططات الطيفية + CNN)

كل ما تحتاجه لفهم المشروع بعمق والدفاع عنه بثقة. ادرس بهذا الترتيب: (1) العرض في 60 ثانية، (2) المفاهيم الأساسية، (3) تفاصيل المشروع وأرقامه، (4) بنك الأسئلة والأجوبة، (5) قائمة "يجب أن تكون قادراً على شرحه".

---

1. العرض التعريفي في 60 ثانية

"تُصاب محركات PMSM بأعطال في العضو الثابت - أشيعها القِصَر بين اللفّات - قد تدمّر الملف. نحن نكشفها آلياً. نأخذ إشارتَي التيار والاهتزاز، ونقطّعهما إلى نوافذ نصف ثانية، ونحوّل كل نافذة إلى **مخطط طيفي موجي** - صورة زمنية-ترددية تُظهر كيف تتوزّع طاقة الإشارة عبر الترددات مع الزمن. ثم تصنّف **شبكة عصبية التفافية (CNN)** كل صورة: سليم أم معطوب. على مجموعة KAIST الحقيقية، تبلغ **قناة الاهتزاز دقة متوازنة مثالية (1.00)** على تسجيلات غير مرئية، بينما **قناة التيار أضعف بكثير (0.69)** - ما يُظهر أن الاهتزاز هو الحسّاس الأفضل لهذا العطل. وخط المعالجة كله بلغة Python، قابل لإعادة الإنتاج ومُختبَر، ونُبلّغ بالدقة المتوازنة لا الخام لأن البيانات غير متوازنة."

2. المفاهيم الأساسية (كن قادراً على شرح كلٍّ بأسلوبك)

2.1 محرك PMSM

محرك متزامن ذو مغناطيس دائم: العضو الدوّار يحمل مغانط دائمة، والعضو الثابت ملفّاً ثلاثي الطور. التيار الثلاثي يُنشئ مجالاً دوّاراً، يتقفّل عليه الدوّار ويدور **متزامناً** (لا انزلاق، لا تيار دوّار <- كفاءة عالية). يُتحَكَّم به بـ **التحكم الموجّه حقلياً (FOC)** الذي يفصل التيار إلى i_d (التدفق، يُبقى ~0) وi_q (العزم). ميزان الطاقة: v.i =~ T.omega (الجهد<->السرعة، التيار<->العزم).

2.2 الأعطال

- **القِصَر بين اللفّات (ITSC)** - ينهار العزل بين لفّات الطور نفسه، يدور تيار كبير يسخّن ويتفاقم. الأشيع، وعطلنا الرئيسي.
- **إزالة المغنطة** - تضعف مغانط الدوّار (حرارة/تقادم) <- دون-توافقيات.
- **الحِمل الزائد** - تشغيل فوق الحِمل الاسمي <- ارتفاع التردد الأساسي + توافقيات.
- (البيانات الحقيقية: سليم + بين اللفّات؛ الأخريان اصطناعيتان فقط.)

2.3 لماذا قد يتفوّق الاهتزاز على التيار

متحكّم FOC **يكبت** الاضطرابات في التيار (حلقة مغلقة تنظّم التيار)، فيُخفي جزئياً بصمة العطل. أما الاهتزاز فاستجابة ميكانيكية مباشرة ومفتوحة للعطل <- بصمة أنقى. نتائجنا تؤكّد ذلك.

2.4 فورييه مقابل المويجات

- **تحويل فورييه**: يخبرك أيّ ترددات موجودة، لا متى - "أعمى عن الزمن". ملائم للإشارات **المستقرة**.
- إشارات الأعطال **غير مستقرة** (عابرة، تعتمد على الحِمل).
- **مبدأ عدم اليقين**: Deltaf . Deltat =< ثابت - لا دقّة زمنية وترددية مثاليّتان معاً.
- **تحويل المويجات** يستخدم "موجات صغيرة" موضعية ويمنح **دقّة معتمدة على التردد**: دقّة ترددية جيدة عند الترددات المنخفضة، ودقّة زمنية جيدة عند المرتفعة - مثالي للعابرات.

2.5 CWT ومويجة Morlet

يُزلِق **تحويل المويجات المستمر** مويجة أمّاً (زمن) ويقيسها (تردد) عبر الإشارة؛ وكل معامل T(a,b) هو **التشابه** (جداء قياسي) بين الإشارة والمويجة المُقاسة/المُزاحة. نستخدم مويجة **Morlet المركّبة** = جيب تمام x جرس Gaussian (cmor1.5-1.0)، على 128 قياساً. يجب أن تكون للمويجة **متوسط صفري** (المقبولية) **وطاقة منتهية**.

2.6 المخطط الطيفي

صورة |CWT|: س = الزمن، ص = القياس/التردد، اللون = الطاقة. الحُزَم/النطاقات الجانبية الساطعة هي بصمات العطل المرئية. نرسم PNG ملوّنة 224x224. هذا يحوّل مشكلة إشارة إلى مشكلة صورة.

2.7 الشبكة العصبية الالتفافية

تتعلّم آلياً الأنماط المكانية في الصور: - **طبقة التفافية**: مرشّحات صغيرة قابلة للتعلّم تنزلق <- خرائط سمات (حواف، نطاقات، نسيج). - **ReLU**: تصفّر السوالب <- لاخطية. - **Max-pool**: تُخفّض العيّنات، تُبقي أقوى الاستجابات، تضيف ثبات الانزياح. - **Pooling Average Global / Flatten**: خرائط 2D <- شعاع 1D. - **Softmax + Dense**: القرار النهائي <- احتمالات الفئات. ميزتاها: **مشاركة المعاملات وحفظ البنية المكانية**. شبكتنا: 3 كتل (32/64/128) <- dropout <- dense <- softmax.

2.8 المقاييس والمزالق

- **الدقة (Accuracy)** = نسبة الصواب - مضلِّلة على البيانات غير المتوازنة.
- **الاستدعاء (Recall)** لكل فئة = من X الحقيقية، كم أمسكنا.
- **الدقة الموجبة (Precision)** = ممّا سمّيناه X، كم كان صحيحاً.
- **F1** = المتوسط التوافقي للدقة والاستدعاء؛ **macro-F1** = متوسطها عبر الفئات.
- **الدقة المتوازنة** = متوسط استدعاءات الفئات - مقياسنا الرئيسي.
- **مصفوفة الالتباس** = جدول الحقيقي مقابل المتنبَّأ.

2.9 تسرّب البيانات والتقسيم

إن ظهرت نوافذ من التسجيل نفسه في التدريب والاختبار <- "حفظ" التسجيل <- درجات مرتفعة زوراً. نمنع ذلك بالتقسيم **حسب التسجيل** (تسجيل كامل في تقسيم واحد)، طبقياً لكل فئة، لكل قناة.

2.10 معالجة اللاتوازن

~4 سليمة مقابل ~60 معطوبة. **نقلّل عيّنات الأكثرية في التدريب/التحقق**، ونُبقي **الاختبار طبيعياً**، ونُبلِّغ **الدقة المتوازنة / macro-F1**.

---

3. تفاصيل المشروع وأرقامه (احفظها)

- **المجموعة:** KAIST Mendeley rgn5brrgrn، CC-BY-4.0. تيار @ 100 kHz، اهتزاز @ 25.6 kHz، ملفات TDMS؛ عادي / بين اللفّات / بين الملفات.

- **المعالجة المسبقة:** تخفيض إلى **10 kHz**؛ نوافذ **0.5 ثانية**، تراكب **50%**؛ حدّ **50 مقطعاً/تسجيل**؛ **3,150** مخططاً (1,550 تيار + 1,600 اهتزاز).
- **المويجة:** Morlet المركّبة cmor1.5-1.0، **128 قياساً** (4->256)، **224x224**.
- **التقسيم:** 70/15/15 حسب التسجيل، طبقي، لكل قناة، خالٍ من التسرّب.
- **النموذج:** 3 كتل (32/64/128) + 0.5 dropout + 128 dense؛ categorical sparse Adam؛ cross-entropy؛ إيقاف مبكر (صبر 5)؛ تعزيز بانعكاس عشوائي.
- **النتائج (مُحتجَزة):** الاهتزاز **1.00**؛ التيار **0.69**؛ الاندماج **0.88**.
- **الحَذف:** الموازنة -> استدعاء السليم 0->1.00؛ حجم الصورة 96->224 يساعد التيار (0.68->0.76)، الاهتزاز مُشبَع؛ منحنى التعلّم: الاهتزاز يكفيه ~46 صورة، التيار مسطّح ~0.70.
- **القيد: 4 تسجيلات سليمة مميّزة فقط.**
- **الهندسة:** 38 اختبار وحدة، CI على Py 3.10-3.12، GPU، P620) ~17x).
- **الأدوات:** PyWavelets - Python (CWT)، TensorFlow/Keras (CNN)، npTDMS، scipy، scikit-learn. MATLAB اختياري فقط.

---

4. بنك أسئلة المناقشة (أسئلة متوقّعة + إجابات قوية)

س1. لماذا المخططات الطيفية بدل تغذية الإشارة الخام للشبكة؟ الإشارات الخام أحادية البُعد تُخفي بصمات العطل في بنية زمنية-ترددية دقيقة. المخططات تُظهرها كأنماط بصرية وتتيح استخدام CNN البارعة في الصور، وتجعل النموذج أمتن أمام الإزاحات.

س2. لماذا المويجات وليس FFT / الطيف الزمني؟ FFT أعمى عن الزمن ويفترض الاستقرار؛ وإشاراتنا غير مستقرة. الطيف الزمني (STFT) له مفاضلة زمن/تردد ثابتة واحدة. تحويل المويجات يكيّف الدقّة لكل تردد، ما يناسب العابرات.

س3. لماذا مويجة Morlet تحديداً؟ جيب مركّب مُنوفَذ بـ Gaussian - الخيار المعياري للإشارات التذبذبية؛ مقدارها يعطي تقدير طاقة سلساً، وتحقّق شرطَي المقبولية (المتوسط الصفري) والطاقة المنتهية.

س4. دقة الاهتزاز 1.00 - أليست مريبة / فرط تخصيص؟ كلّا حذرين: التقسيم **خالٍ من التسرّب حسب التسجيل**، و1.00 على **تسجيلات مُحتجَزة** لا نوافذ عشوائية. والقيد الأمين أنه لا يوجد سوى **4 تسجيلات سليمة**، فلا نستبعد كلياً تعلّم سمات خاصة بالتسجيل. لذا نعرضها كقيد ونوصي بجمع تسجيلات سليمة مستقلة أكثر. وفيزيائياً، يُتوقَّع أن يكون الاهتزاز قناة قوية للعطل بين اللفّات.

س5. لماذا التيار أسوأ بكثير من الاهتزاز؟ سببان: (أ) بصمة العطل في التيار ضعيفة عند الشدّات المتاحة؛ (ب) متحكّم FOC يكبت الاضطرابات في التيار. أما الاهتزاز فيستجيب مباشرة. وتجربة منحنى التعلّم تُظهر أن مزيد بيانات التيار لا يساعد (مسطّح ~0.70) -> قيد جودة لا كمية.

س6. لماذا الدقة المتوازنة بدل الدقة؟ الاختبار 50 سليماً / 200 معطوباً. نموذج يقول دائماً "معطوب" يحقّق 80% دقة لكنه لا

يكشف محركاً سليماً - عديم الفائدة. الدقة المتوازنة وmacro-F1 تكشفان ذلك فوراً.

س7. ما تسرّب البيانات وكيف تجنّبته؟ إن وقعت نوافذ شبه متطابقة من تسجيل واحد في التدريب والاختبار، تتضخّم الدرجة. نقسّم حسب **recording_id** فيقع التسجيل كاملاً في تقسيم واحد، طبقياً لكل فئة، لكل قناة.

س8. كيف عالجت اللاتوازن؟ تقليل عيّنات الأكثرية في **التدريب/التحقق فقط**، وإبقاء **الاختبار طبيعياً**. وأثبتنا (بالحَذف) أن غياب ذلك يجعل نموذج التيار ينهار إلى التنبؤ بـ "عطل" (استدعاء سليم 0%).

س9. ماذا يفعل نموذج الاندماج ولماذا لم يفز؟ له فرعان التفافيان (تيار + اهتزاز) يُدمَجان قبل المصنّف. تفوّق على التيار وحده (0.88 مقابل 0.69) لكن ليس على الاهتزاز وحده (1.00) - إضافة قناة ضعيفة لقوية لم تساعد على هذه المجموعة الصغيرة. ومع مشكلة أصعب يُتوقَّع أن يساعد.

س10. لماذا نوافذ 0.5 ثانية و10 kHz؟ 0.5 ثانية تلتقط عدة دورات كهربائية (50 Hz -> 25 دورة) - يكفي للمحتوى الترددي. ونخفّض 100 kHz -> 10 kHz لإبقاء حجم المخطط معقولاً مع الحفاظ على الترددات المهمة (Nyquist 5 kHz).

س11. كم معاملاً / ما حجم النموذج؟ هل حدث فرط تخصيص؟ شبكة صغيرة من 3 كتل، مُحجَّمة عمداً لمجموعة من بضعة آلاف صورة. ضوابط فرط التخصيص: dropout 0.5، تعزيز بيانات، إيقاف مبكر، وGAP في رأس الاندماج. ومنحنى التيار المسطّح يؤكّد أن السَّعة ليست العنق.

س12. هل ما زلت تحتاج MATLAB؟ لا. كل شيء يعمل بـ PyWavelets Python) + TensorFlow). شيفرات MAT-LAB مسار بديل اختياري، ولا تعتمد أيّ نتيجة عليها.

س13. كيف هو قابل لإعادة الإنتاج؟ بذرة ثابتة (42) في كل مكان، config.yaml واحد، manifest.csv واحد، 38 اختبار وحدة، CI عند كل دفع، أوامر موثّقة في README.

س14. ماذا ستفعل بمزيد من الوقت / العمل المستقبلي؟ جمع تسجيلات سليمة مستقلة أكثر، بناء مجموعة متعددة القنوات متزامنة ليتألّق الاندماج، التنبؤ بـ **شدّة** العطل (انحدار)، إضافة **Grad-CAM** للتفسير، النشر اللحظي داخل المُشغّل.

س15. ما الفرق بين بين اللفّات وبين الملفات؟ كلاهما قِصَر في ملف العضو الثابت، بين اللفّات داخل الملف نفسه، وبين الملفات بين ملفّين. جمعناهما في فئة "InterTurn".

س16. لماذا CNN وليس مصنّفاً تقليدياً (SVM، غابة عشوائية)؟ تلك تحتاج سمات يدوية، بينما تتعلّم CNN السمات مباشرة من صورة المخطط. ولأن البصمات مكانية/بصرية، فإن CNN هي الملاءمة الطبيعية.

س17. ماذا على محوري المخطط، ولماذا يكون مشوّشاً في الأسفل؟ س = الزمن، ص = القياس (~= مقلوب التردد)، اللون = الطاقة. و"التشويش" يعكس مبدأ عدم اليقين: الترددات المنخفضة (الأسفل) دقّتها الترددية عالية والزمنية خشنة، والمرتفعة بالعكس.

س18. كيف تحقّقت من البرمجيات نفسها؟ البيانات الاصطناعية (قابلة للفصل بالبناء) تعطي 100% - ما يثبت أن خط المعالجة موصول بصحة من بدايته لنهايته (لا تسرّب، تسميات/مقاييس صحيحة)، بمعزل عن صعوبة المشكلة الحقيقية.

---

5. قائمة "يجب أن تشرحه على السبّورة"

- ☐ ارسم خط المعالجة كاملاً: إشارة <- نافذة <- CWT <- مخطط طيفي <- CNN <- فئة.
- ☐ ارسم مويجة (Morlet) واشرح القياس مقابل الإزاحة.
- ☐ اشرح مبدأ عدم اليقين وصناديق هايزنبرغ على المخطط.
- ☐ ارسم مكدّس طبقات CNN وقل ماذا تفعل كل طبقة.
- ☐ عرّف الدقة والاستدعاء والدقة الموجبة وF1 والدقة المتوازنة، واحسب مصفوفة التباس صغيرة يدوياً.
- ☐ اشرح تسرّب البيانات والتقسيم على مستوى التسجيل برسم.
- ☐ اشرح إصلاح اللاتوازن ولماذا يبقى الاختبار طبيعياً.
- ☐ اذكر الأرقام الرئيسية (الاهتزاز 1.00، التيار 0.69، الاندماج 0.88) وقيد الـ 4 تسجيلات السليمة.
- ☐ برّر كل قيمة ضبط (0.5 ثانية، 10 kHz، 128 قياساً، 224 px، 70/15/15...).

---

6. أسئلة "الفخّ" المحتملة (والإجابة الأمينة)

- "إذن نموذجك دقيق 100%؟" <- "دقة متوازنة 1.00 على قناة الاهتزاز على تسجيلات مُحتجَزة
  - لكن لا توجد سوى 4 تسجيلات سليمة، فنعرضها بهذا القيد لا كمنتج نهائي."
- "أليست 100% الاصطناعية غشّاً؟" <- "تتحقّق فقط من مسار البرمجيات، لا نعرضها كنتيجة حقيقية."
- "لماذا لا تستخدم التيار وحده - فهو أرخص؟" <- "اختبرنا ذلك تماماً؛ التيار ضعيف جداً لهذا العطل عند هذه الشدّات. هذه نتيجة لا ثغرة."

---

7. أين تجد الأشياء (لعرض حي أثناء المناقشة)

- تشغيل الاختبارات: test make (38 تنجح).
- اصطناعي من البداية للنهاية: demo make.
- الأشكال: results/ (confusion_real_2class.png، example_scalograms_real.png، learning_curve.png).
- التقرير/الشرائح: docs/build/، PDF/DOCX/PPTX) إنجليزي + عربي).
- خريطة الشيفرة: docs/build-walkthrough-ar.md.
- المستودع: github.com/molhamfetnah/pmsm-fault-diagnosis-cnn-scalogram.