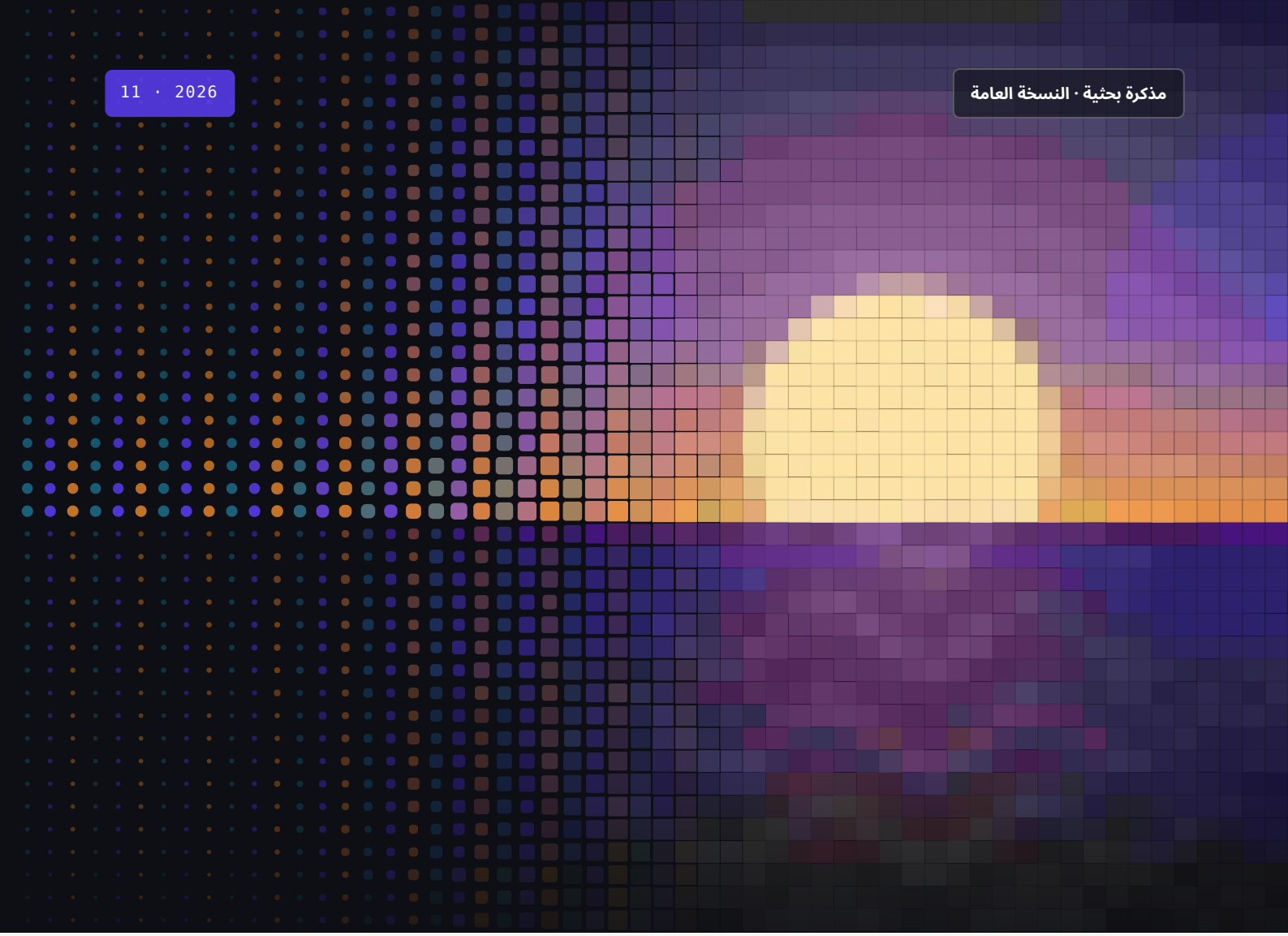


مذكرة بحثية · النسخة العامة

11 · 2026

الضغط المتعلّم · التشغيل × الرقائق

الترميز العصبي في 2026

يُطرح حول المرماز، لا بدلاً منه

التشغيل · التصوير · المكالمات · الذكاء الاصطناعي التوليدي · الألعاب · الرقائق

الخلاصة

تعمل الشبكات العصبية بالفعل على طرفي المراميز التي تنقل فيديو العالم. ولا تُطرح المراميز العصبية من طرف إلى طرف إلا في الحلقات المغلقة، فيما تنتظر الشاشات واسعة الانتشار معيار H.267.

تان شواي

خبير تقني ومؤسِّس · باحث ومطوِّر في الذكاء الاصطناعي

tanshuai.com · i@tanshuai.com

البيانات حتى 12 نوفمبر 2026

المبالغ بالدولار الأمريكي

المحتويات

المحتويات

◆	**الملخص التنفيذي** سائد بالفعل، لكن حول المرماز	04
01	**النطاق والمنهج** ما يعنيه «الترميز العصبي» هنا، وكيف بحثت	07
02	**التشغيل والبث** التشغيل والبث: عصبي على الطرفين، قياسي في الوسط	08
03	**التصوير والصور** التصوير والصور: عصبي داخل الكاميرا، تقليدي على الويب	11
04	**المكالمات والاجتماعات** المكالمات والاجتماعات: حيث تُطرح المراميز العصبية من طرف إلى طرف فعلاً	12
05	**الذكاء الاصطناعي التوليدي** الذكاء الاصطناعي التوليدي: أكبر انتشار لا يسميه أحد مرمازاً	14
06	**الألعاب والرسوميات** الألعاب والرسوميات: إعادة البناء العصبية سائدة، والأصول العصبية في بدايتها	15
07	**الوصلات المتخصصة** الوصلات المتخصصة: الأقمار الصناعية والطائرات المسيّرة والروبوتات	17
08	**الرقائق** منظور الرقائق: الطاقة والحوسبة والذاكرة والتطابق	18
09	**المعايير وبراءات الاختراع** المعايير وبراءات الاختراع: أين تصبح الأدوات العصبية قابلة للترخيص	22
10	**من يجني المال** من يجني المال، وأين يمكن لشركة أن تنافس	24
11	**الادعاءات والأدلة** ادعاءات ستسمعها، وما تقوله الأدلة	25
12	**مؤشرات للمتابعة** ما يجب متابعته، من 2027 إلى 2030	26
13	**أسئلة مفتوحة**	27
◆	**عن المؤلف** تان شواي	28
◆	**المصادر**	29

الأشكال

الأشكال



الشكل 01	أين يُطرح الترميز العصبي في 2026	06
الشكل 02	ثلاث طرق تدخل بها الشبكة العصبية إلى المرماز	07
الشكل 03	الانتقال من معيار مكتمل إلى الشاشات واسعة الانتشار يستغرق معظم عقد	10
الشكل 04	في المكالمات، يتفوق مرماز عصبي على HEVC العتادي بنسبة 65–76%	13
الشكل 05	حين تتحكم شركة واحدة في المنظومة كلها، تنتشر إعادة البناء العصبية بسرعة	15
الشكل 06	طاقة فك ترميز البكسل: مفككات الترميز ثابتة الوظيفة متقدمة برتبة مقدار	19
الشكل 07	الأداة العصبية تكلّف عشرات الآلاف من عمليات MAC لكل بكسل، ومفكك الترميز العصبي الكامل يكلّف مئات الآلاف	20
الشكل 08	التقسيم الذي يُطرح: عتاد ثابت الوظيفة لتدفق البتات، ومحرك عصبي للبكسلات	21
الشكل 09	من يجني المال من الترميز العصبي في 2026	24

الوسوم في النص

- **تقدير** — حساب المؤلف أو استنتاجه من بيانات مذكورة المصدر
- **ادعاء المورّد** — صادر عن الشركة التي تبيع المنتج، ولم يُتحقَّق منه بصورة مستقلة
- **تحليل** — تفسير المؤلف للأدلة

هذه ترجمة عن النسخة الإنجليزية، ويُعتدّ بالنسخة الإنجليزية حيثما اختلفتا.

البيانات حتى 12 نوفمبر 2026 · المبالغ بالدولار الأمريكي

الملخص التنفيذي

سائد بالفعل، لكن حول المرماز

الخلاصة

الترميز العصبي سائد بالفعل في 2026، لكنه يعمل حول المراميز القياسية، لا بدلاً منها.

≈75%
من حركة البيانات المتنقلة فيديو، في نهاية 2025 (Ericsson)

1.26 مليار
هاتف ذكي شُحنت في 2025، وكل واحد منها يفك ترميز الفيديو بعتاد ثابت الوظيفة

≈12×
طاقة البكسل في رقاقة فك ترميز HEVC مقيسة مع DRAM، لدى التصميم الوحيد المنشور لرقاقة فك ترميز عصبي

≈22 TOPS
من الحوسبة المستدامة لمفكك ترميز عصبي من فئة DCVC-RT عند 1080p30 تقدير

75.5%
معدل بت أقل من HEVC العتادي لدى MLVC عند 360p في المكالمات، على مجموعة اختبار Microsoft نفسها ادعاء المورّد

نهاية 2029
الإصدار 1 من H.267، أول معيار يُرجَّح أن يحمل الأدوات العصبية إلى كل شاشة

أين يُطرح

تعمل الشبكات العصبية الآن على طرفي المراميز التي تنقل كل فيديو العالم تقريباً. في طريق الدخول تشكّل الصورة: معالجات إشارة الصورة بالذكاء الاصطناعي في كاميرات الهواتف، وأداة خفض دقة عصبية في سلسلة الترميز لدى Netflix. وفي طريق الخروج تصلحها: ميزة Super Resolution من YouTube على أجهزة التلفاز، والدقة الفائقة لدى Meta، ومعالجات تلفاز تُعلن عن مئات الشبكات العصبية. وبينهما يبقى تدفق البتات AV1 أو HEVC أو AVC أو VVC، ويفك ترميزه عتاد ثابت الوظيفة. لا تبث أي خدمة صيغة فيديو عصبية إلى أجهزة التلفاز أو الهواتف؛ وحيثما يعمل مفكك ترميز فيديو عصبي على جهاز اليوم، فإنه يعمل داخل تطبيق خاص بشركة واحدة.

الحلقات المغلقة

أما المراميز العصبية من طرف إلى طرف، حيث يكون المرمِّز ومفكك الترميز كلاهما متعلَّمين، فلا تُطرح إلا في الحلقات المغلقة، حيث تتحكم شركة واحدة في الطرفين ويمكنها الرجوع إلى مرماز قياسي. تشغّل Microsoft مرماز صوت بالذكاء الاصطناعي في كل مكالمات Teams وSkype الثنائية منذ 2021، وفي يوليو 2026 أصدرت MLVC مفتوح المصدر، وهو مرماز فيديو عصبي يُطرح الآن تدريجياً في مكالمات Teams من نظير إلى نظير: عند 360p يحتاج إلى معدل بت أقل بنحو 75% من HEVC العتادي للجودة المقيَّمة نفسها. وكل نموذج لتوليد الكلام والفيديو يعمل على مرماز متعلَّم، من مجزِّئات رموز الكلام بتردد 12.5 Hz إلى VAE الفيديو بنسبة ضغط 1:192. وطُرح ضغط الخامات العصبي في لعبة AAA واحدة. هذه عمليات نشر حقيقية، ويجمعها شرط واحد: لا يضطر أي طرف آخر إلى فك ترميز التدفق.

التوقيت

التشغيل الجماهيري لتدفقات البتات العصبية ينتظر معياراً ودورة رقائق. أول معيار يُرجَّح أن يحمل أدوات عصبية، وهو خليفة VVC الذي سأسميه H.267، أصدر دعوته لتقديم المقترحات في يوليو 2026، ويقيّم الردود في يناير 2027، ويستهدف إصداراً أول في نهاية 2029. احتاج AV1 قرابة ثماني سنوات من اكتمال

المواصفة إلى 30% من المشاهدة على Netflix. وعلى هذا النمط، تصل أولى رقائق H.267 نحو 2031 ويأتي الاستخدام الواسع في منتصف ثلاثينيات القرن تقدير . وفي الأثناء، المرماز الذي سيصل إلى الشاشات تالياً هو AV2، الذي اكتمل في مايو 2026 دون أي مفكك ترميز عصبي فيه، وأعلن ثلاثة مورّدي IP عن عملاء لمفككات ترميز AV2 في غضون ثلاثة أسابيع.

الرقائق

والسبب في الرقائق. يحتاج التصميم الوحيد المنشور لرقاقة فك ترميز فيديو عصبي إلى 14.6 nJ لكل بكسل، أي نحو 12 ضعف رقاقة فك ترميز HEVC مقيسة محسوبة مع ذاكرتها DRAM، ونحو 47 ضعف نواتها وحدها. ويحتاج DCVC-RT، المرماز البحثي الآتي من Microsoft، بحسب عدّي لجدوله الخاص لكل وحدة، إلى نحو 175 ألف عملية ضرب وتجميع لكل بكسل يُفك ترميزه، أي قرابة 22 TOPS من الحوسبة المستدامة لدقة 1080p30 تقدير : نحو نصف عتبة 40 TOPS التي يُعرَّف بها حاسوب الذكاء الاصطناعي، تُنفق على تدفق فيديو واحد. ويجب على مفكك الترميز العصبي أيضاً أن يعطي نتائج متطابقة بتاً ببت على كل جهاز، وإلا انهار فك ترميز الإنتروبيا لديه. ولهذا يتخلى MLVC عن بعض الضغط كي يُفك ترميزه بصورة متطابقة عبر وحدات NPU، ويعمل بدقة 540p لا 4K.

الأعمال

بالنسبة إلى الأعمال، يتبع المال المعايير والمنصات، لا المراميز العصبية المستقلة. تحتفظ المنصات بالوفورات الناتجة عن المعالجة العصبية المسبقة واللاحقة. ويرخّص مورّدو IP مفككات ترميز ثابتة الوظيفة لكل معيار جديد، إضافة إلى وحدات NPU لمعالجة الصور. وتحصّل مجمعات البراءات عن كل جهاز: في VVC، 0.50 دولار لكل هاتف و1.00–1.50 دولار لكل تلفاز 4K في الولايات المتحدة وأسواق المنطقة 1 الأخرى. وأشهر ثلاث شركات ناشئة في المراميز العصبية، WaveOne وiSIZE وDeep Render، اشترتها Apple وSony وInterDigital. والفرص المفتوحة هي في المعالجة العصبية المسبقة واللاحقة، وفي منتجات الحلقات المغلقة، وفي رقائق تجمع مرمازاً ثابت الوظيفة مع NPU، وفي أعمال التقييم والمعايير بينها.

السؤال	الحكم	الأرقام الرئيسية (المصادر في الفصول)
1 أين يُطرح الترميز العصبي على نطاق واسع اليوم؟	حول المرماز: معالجات ISP في الكاميرات، وخفض الدقة في جانب الترميز، والدقة الفائقة عند التشغيل. ومن طرف إلى طرف في الحلقات المغلقة فقط: المكالمات، وأصول الألعاب، ومجزِّئات الرموز في الذكاء الاصطناعي التوليدي	الفيديو ≈75% من البيانات المتنقلة؛ 1.26 مليار هاتف و≈200 مليون تلفاز شُحنت في 2025، وكلها تفك الترميز بعتاد ثابت الوظيفة؛ DLSS 4 في أكثر من 250 لعبة وتطبيقاً
2 هل ستحل المراميز العصبية محل AV1 وHEVC وVVC في التشغيل؟ ومتى؟	ليس قبل معيار ودورة أجهزة. H.267 هو أول حامل واقعي لها، وسيمزج على الأرجح بين الأدوات التقليدية والعصبية	الدعوة لتقديم المقترحات لمعيار H.267 في يوليو 2026، والتقييم في يناير 2027، والإصدار 1 في نهاية 2029؛ والاستخدام الواسع في منتصف ثلاثينيات القرن تقدير
3 كم يكلّف في الرقائق؟	طاقة لكل بكسل أعلى برتبة مقدار من فك الترميز بالعتاد ثابت الوظيفة اليوم، إضافة إلى حركة بيانات الذاكرة واشتراط التطابق على مستوى البت	14.6 nJ لكل بكسل (عصبي) مقابل 1.19 (HEVC، مع DRAM)؛ ≈175 kMAC لكل بكسل يُفك ترميزه ≈ 22 TOPS عند 1080p30 تقدير
4 ما الذي تسمح به المعايير والبراءات؟	يمكن بالفعل الإشارة إلى المرشِّحات اللاحقة العصبية في تدفقات VVC؛ وJPEG AI معيار ISO؛ وسيحدد H.267 أي الأدوات العصبية تصبح قابلة للترخيص	ECM (تقليدي) ≈28% أفضل من VVC؛ مرشِّحات الحلقة العصبية 6–14% بكلفة 10–22+ kMAC لكل بكسل؛ ByteDance لديها 645 عائلة براءات في أعمال ما بعد VVC
5 من يجني المال، وأين يمكن لشركة أن تنافس؟	المنصات، ومورّدو IP، وحاملو البراءات. أما الشركات الناشئة المتخصصة في المراميز العصبية وحدها فاستُحوذ عليها. نافِس في المعالجة المسبقة واللاحقة، والحلقات المغلقة، ورقائق المرماز مع NPU، والتقييم	مجمع VVC: 0.50 دولار لكل هاتف؛ ترخيص IP مفككات ترميز AV2 في غضون أسابيع من المواصفة؛ ثلاث عمليات استحواذ بشروط غير معلنة

السؤال	الحكم	الأرقام الرئيسية (المصادر في الفصول)
⑥ أي الادعاءات ينبغي التحفظ عليها؟	المكاسب المذكورة مقارنةً بمرامير قديمة، أو بدقة منخفضة، أو دون كلفة فك الترميز، أو من عروض توضيحية لا من منتجات مطروحة	MLVC: أقل بنسبة 88% من H.264 لكن أقل بنسبة 65–76% من HEVC العتادي؛ الخامات: توفير 85% من VRAM في عرض توضيحي، ونحو 30% في اللعبة المطروحة

الشكل 01 أين يُطرح الترميز العصبي في 2026

تعمل الشبكات العصبية بالفعل على طرفي المرامير السائدة. ولا تُطرح المرامير العصبية من طرف إلى طرف إلا حيث تتحكم شركة واحدة في المرمِّز ومفكك الترميز معاً.

	حول مرماز قياسي معالجة مسبقة، تحسين، رفع الدقة	مرماز عصبي من طرف إلى طرف مرمِّز ومفكك ترميز متعلَّمان	داخل معيار أدوات عصبية في تدفق بتات أو API قياسي
01 **التشغيل والبث**	● **على نطاق واسع** أداة خفض الدقة في Netflix؛ الدقة الفائقة لدى YouTube وMeta؛ أدوات رفع الدقة بالذكاء الاصطناعي في التلفاز	● **غير مطروح** لا تبث أي خدمة صيغة فيديو عصبية؛ وتعتمد أجهزة التلفاز والهواتف على مفككات ترميز عتادية للمرامير القياسية	● **قيد التقييس** الإصدار 1 من H.267 مقرر في نهاية 2029؛ والأدوات العصبية من بين الخيارات المرشَّحة
02 **التصوير ومعالجة الصور**	● **على نطاق واسع** معالجات ISP بالذكاء الاصطناعي في الهواتف الرائدة؛ وISP عصبي كامل عُرض بصفته نواة IP في CES 2026	● **عروض وتجارب** JPEG AI معيار ISO: عروض على الهواتف، ولا منتج	● **غير مطروح** الصيغة التي تكسب أرضاً تقليدية: JPEG XL مفعّل افتراضياً في Chrome 155
03 **المكالمات والاجتماعات**	● **على نطاق واسع** الدقة الفائقة في جهة الاستقبال وكبت الضوضاء العصبي	● **على نطاق واسع** صوت عصبي في مكالمات Teams الثنائية منذ 2021؛ وفيديو MLVC يُطرح تدريجياً في Teams	● **طرح محدود** يضيف Opus 1.5 أدوات تعلم آلي اختيارية متوافقة مع الإصدارات السابقة
04 **الذكاء الاصطناعي التوليدي**	—	● **على نطاق واسع** كل نموذج للفيديو والصوت يشغّل مجزِّئ رموز متعلَّماً، مثل VAE فيديو بنسبة 1:192	—
05 **الألعاب والرسوميات**	● **على نطاق واسع** رفع الدقة وتوليد الإطارات عصبياً: DLSS 4 وحدها في أكثر من 250 لعبة وتطبيقاً	● **طرح محدود** طُرحت الخامات العصبية في لعبة AAA واحدة؛ وحزمة SDK من NVIDIA في مرحلة تجريبية	● **قيد التقييس** تضيف DirectX عمليات المصفوفات إلى المظلِّلات (معاينة)
06 **الوصلات المتخصصة: الأقمار الصناعية والروبوتات**	● **عروض وتجارب** استعادة جودة التغذيات منخفضة معدل البت على الخوادم	● **عروض وتجارب** مرامير عصبية مقاومة للفقد في البحث والتجارب	—

المصدر: وثائق الشركات والمعايير والمطورين المذكورة في التقرير؛ الحالة حتى 12 نوفمبر 2026. الصفوف مرتبة بحسب عدد الأشخاص الذين يصل إليهم كل مجال.

الفصل 01

01

النطاق والمنهج

ما يعنيه «الترميز العصبي» هنا، وكيف بحثت

ثلاث طرق تدخل بها الشبكة العصبية إلى المرماز

يشمل «الترميز العصبي» ثلاثة أشياء مختلفة، ومعظم الجدل حوله ينشأ من الخلط بينها.

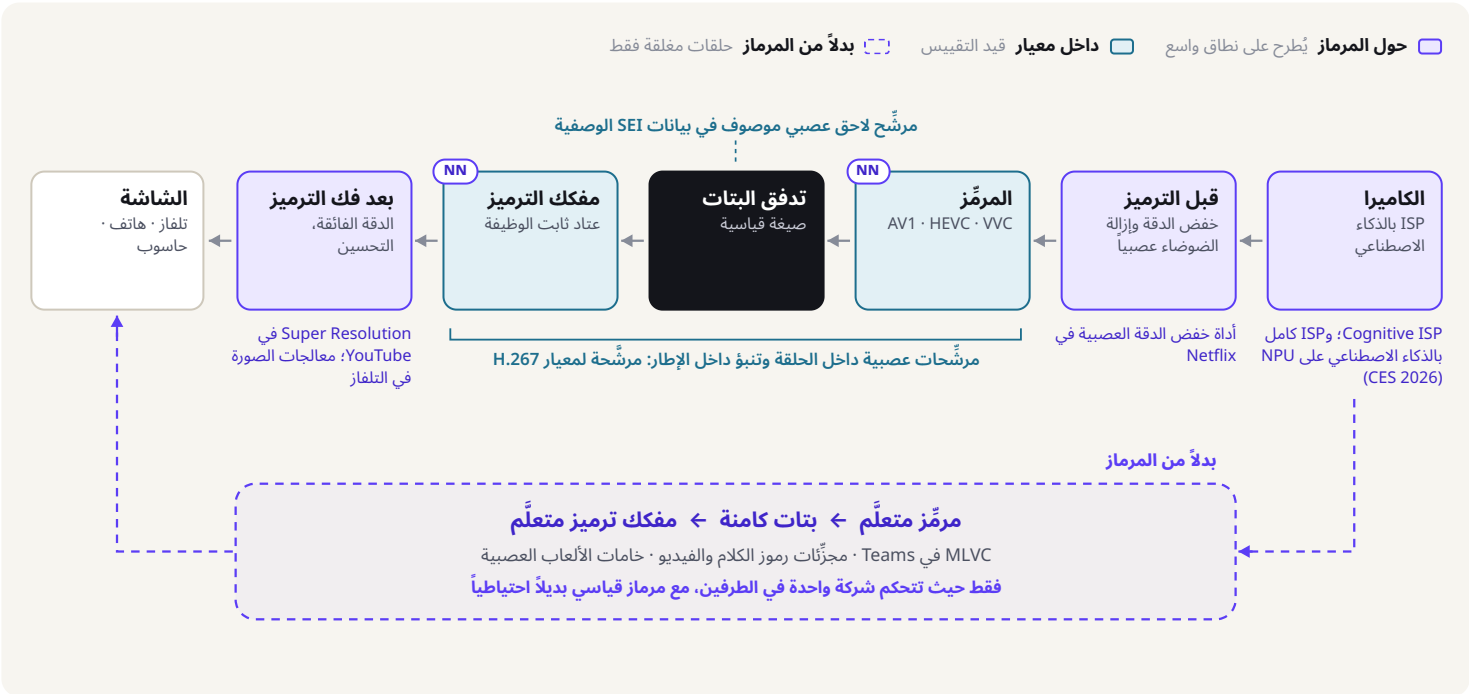
01 **حول المرماز.** تعالج الشبكة البكسلات قبل الترميز أو بعد فك الترميز، ويبقى تدفق البتات قياسياً. أمثلة: معالج إشارة صورة (ISP) بالذكاء الاصطناعي في الكاميرا، وأداة خفض الدقة العصبية لدى Netflix قبل مرمِّزها، والدقة الفائقة على التلفاز. يستطيع أي جهاز تشغيل التدفق؛ والشبكة لا تغيّر إلا ما يدخل أو ما يخرج.

02 **داخل معيار.** تصبح الشبكة أداة في مرماز قياسي، مثل مرشِّح عصبي داخل الحلقة أو مُتنبِّئ داخل الإطار يجب على كل مفكك ترميز تشغيله، ولذلك يجب أن تُحدَّد بدقة تامة، وعادةً بحساب الأعداد الصحيحة. وثمة شكل أخف هو المرشِّح اللاحق العصبي الذي يصفه تدفق البتات في البيانات الوصفية ويمكن لمفككات الترميز أن تختار تطبيقه.

03 **بدلاً من المرماز.** يكون المرمِّز ومفكك الترميز كلاهما متعلَّمين من طرف إلى طرف. وتدفق البتات مجموعة من القيم الكامنة المكمَّمة لا تستطيع فك ترميزها إلا الشبكة المطابقة. أمثلة: MLVC من Microsoft في Teams، ومجزِّئات رموز الكلام في نماذج الصوت، والخامات العصبية في لعبة.

الشكل 02 ثلاث طرق تدخل بها الشبكة العصبية إلى المرماز

معظم ما يُطرح في 2026 يعمل حول مرماز قياسي. والأدوات العصبية داخل المعيار قيد التحديد. ولا تحل المرامير العصبية من طرف إلى طرف محل المرماز إلا حيث تتحكم شركة واحدة في الطرفين.



المصدر: خلاصة المؤلف لمصادر هذا التقرير؛ الحالة حتى 12 نوفمبر 2026.

النوع الأول لا يحتاج إذناً من أحد. والثاني يحتاج إلى معيار. والثالث يحتاج إلى التحكم في الطرفين. وهذا هو الترتيب الذي تصل به إلى الناس، وهو يفسر معظم ما يلي.

مرتبة بحسب الواقع، لا بحسب أجندة البحث

تدرس الأوراق البحثية في الغالب النوع الثالث، لأن هناك تُسجَّل الأرقام القياسية في الضغط. أما هذا التقرير فيرتب المجالات بحسب عدد الأشخاص الذين تصل إليهم، لأن ذلك هو ما يحدد أين يذهب المال والجهد الهندسي: التشغيل والبث أولاً، ثم التصوير، فالمكالمات، فالذكاء الاصطناعي التوليدي، فالألعاب، وأخيراً الوصلات المتخصصة (الأقمار الصناعية والطائرات المسيّرة والروبوتات). يشكّل الفيديو نحو 75% من إجمالي حركة البيانات المتنقلة، بحسب إحصاء Ericsson في نهاية 2025. وفي 2025 شحنت الصناعة نحو 1.26 مليار هاتف ذكي (IDC) وقرابة 196–209 ملايين جهاز تلفاز (تقديرات TrendForce وOmdia). وكل واحد منها يفك ترميز الفيديو بعتاد ثابت الوظيفة.

كيف عملت

هذا بحث مكتبي، أجريته كما أراجع رقاقة أو خطة منتج. قرأت وثائق المعايير وتقارير الاجتماعات (JVET وMPEG وJPEG وAOMedia وIETF)، ومدونات الهندسة وملاحظات الإصدار لدى الشركات، والأوراق البحثية عن الرقائق، وجداول تعرفات مجمعات البراءات، ونصوص ضوابط التصدير، والصحافة. كل رقم مقرون بتاريخه. وحيث أستخلص رقماً بنفسي، كالحوسبة لكل بكسل من جداول ورقة بحثية، أذكر ذلك وأضع عليه وسم تقدير. أما الادعاءات التي لم أستطع التحقق منها في مصدر أولي فموسومة ادعاء المورّد. المبالغ بالدولار الأمريكي. والحالة حتى 12 نوفمبر 2026.

أقارن الشيء بنظيره حيث أستطيع، وأذكر ذلك حيث لا أستطيع. مكاسب الضغط لا تعني الكثير ما لم تُرفق بها أربعة أمور: مرجع المقارنة (المكسب مقارنةً بماذا)، والمقياس (PSNR أو VMAF أو لجنة من المشاهدين)، والمحتوى والدقة، وكلفة فك الترميز. ومعظم الخلاف حول المراميز العصبية يختفي متى ذُكرت هذه الأربعة.

الفصل 02

02

التشغيل والبث

التشغيل والبث: عصبي على الطرفين، قياسي في الوسط

ما يصل إلى المشاهدين لا يزال تدفق بتات قياسياً

أنهت أكبر خدمات الفيديو انتقالاً من مرماز إلى آخر وتبدأ الانتقال التالي، ولا يتضمن أيٌّ منهما مفكك ترميز عصبياً. في ديسمبر 2025 أفادت Netflix بأن AV1 حمل نحو 30% من المشاهدة لديها، ليكون ثاني أكثر مراميزها استخداماً بعد AVC. ولم يصل AV1 إلى أجهزة التلفاز إلا حين وصلت إليها مفككات ترميزه العتادية: أضافت Netflix ترميز AV1 إلى برنامج اعتماد الأجهزة لديها في 2019، وبثته إلى أجهزة التلفاز منذ أواخر 2021، وتقول إن 88% من أجهزة الشاشات الكبيرة المقدَّمة للاعتماد بين 2021 و2025 دعمته، وكلها تقريباً منذ 2023. وقالت YouTube إنه حتى 19 مارس 2026 كان أكثر من 90% من مكتبتها، مرجَّحةً بوقت المشاهدة، متاحاً بترميز AV1.

وصل AV2، خليفة AV1 من Alliance for Open Media، إلى الإصدار 1.0.0 في 28 مايو 2026، بضغط أفضل من AV1 بنحو 30% بحسب القياسات الموضوعية لدى AOMedia. وتخطط YouTube لبث AV2 على الويب «بدءاً من أوائل 2027 في أقرب الأحوال». وتبعته الرقائق على الفور: أكملت Chips&Media مفكك ترميز AV2 عتادياً في مايو ورخّصته في يونيو لشركة تقنية كبرى من أمريكا

الشمالية لم تُسمِّها؛ وكانت Allegro DVT قد سلّمت نواة IP لفك ترميز AV2 إلى ثلاثة عملاء بحلول 16 يونيو؛ وكانت VeriSilicon قد أصدرت نواة IP للفيديو تدعم AV2 لعدة عملاء بحلول 10 يونيو. وAV2 مرماز تقليدي: مكاسبه تأتي من تحسين التقسيم والتنبؤ والتحويلات والمرشِّحات داخل الحلقة (أحدها مرشِّح تفاصيل موجَّه «قائم على البيانات»)، لا من شبكة من طرف إلى طرف.

ووجد VVC، معيار ITU/ISO الحالي، أول موطن له في البث في البرازيل، التي دخل نظامها DTV+ (TV 3.0) مرحلة التشغيل التجاري في يونيو 2026، بالتزامن مع كأس العالم. وحتى يوليو 2026 لم يكن أي تلفاز معروض للبيع في البرازيل مزوّداً بجهاز استقبال DTV+ مدمج؛ ويُتوقع وصول أولى هذه الأجهزة بين أواخر 2026 وأوائل 2027.

عند المرمِّز: أداة خفض الدقة العصبية لدى Netflix

أوضح مثال على الترميز العصبي في التشغيل يعمل منذ 2022 ولا يغيّر شيئاً مما يجب أن يفعله جهاز المشاهد. ترمّز Netflix كل عمل بعدة درجات دقة، وكانت خطوة خفض الدقة التي تنتج 1080p و720p و540p من نسخة أصلية بدقة 4K تستخدم تقليدياً مرشِّحاً ثابتاً مثل Lanczos. واستعاضت Netflix عنه بشبكة عصبية صغيرة، كتلةِ معالجة مسبقة تليها كتلة لتغيير الحجم، دُرّبت لتحسين الجودة المرئية بعد أداة رفع دقة قياسية على الجهاز. وتصفها Netflix بأنها حل يُركَّب مباشرة: لا تغيير آخر في جانب الترميز ولا في جانب العميل، ولذلك «تستفيد تلقائياً ملايين الأجهزة التي تدعم بث Netflix». وفي اختبارات التفضيل لدى Netflix اختار نحو 77% من المشاهدين مخرجات أداة خفض الدقة العصبية ادعاء المورّد. ولإبقاء الكلفة مقبولة على نطاق Netflix، «كانت بضع طبقات من الشبكة العصبية كافية».

هذا هو النمط الذي يجب تذكّره. تعمل الشبكة مرة واحدة لكل عمل في مركز البيانات، حيث الحوسبة رخيصة ويمكن جدولتها، ومخرجاتها تدفق AV1 أو HEVC عادي.

عند الشاشة: الدقة الفائقة في التطبيق وفي التلفاز

على الطرف الآخر، تصلح الشبكات ما فقده المرماز والمصدر. في 29 أكتوبر 2025 أعلنت YouTube عن ميزة Super Resolution لتطبيقها على التلفاز: مقاطع الفيديو المرفوعة بأقل من 1080p، من 240p إلى 720p، تُرفع دقتها إلى HD بالتعلم الآلي، مع 4K هدفاً معلناً. والنسخ المرفوعة الدقة موسومة، ويمكن للمشاهدين العودة إلى الأصل، ويمكن لصنّاع المحتوى الانسحاب منها. ووصفت Meta في أكتوبر 2025 كيف تشغّل الدقة الفائقة للفيديو على خوادمها عند الرفع، على وحدات CPU قياسية من نوع x86 بالشراكة مع Intel، وعلى جهاز العميل عند التشغيل، ووجدت أن الأمرين يكمل أحدهما الآخر. ويفعل صانعو التلفاز الشيء نفسه في السيليكون: يُعلن معالج 8K الرائد من Samsung، NQ8 AI Gen3، عن 768 شبكة عصبية لرفع الدقة.

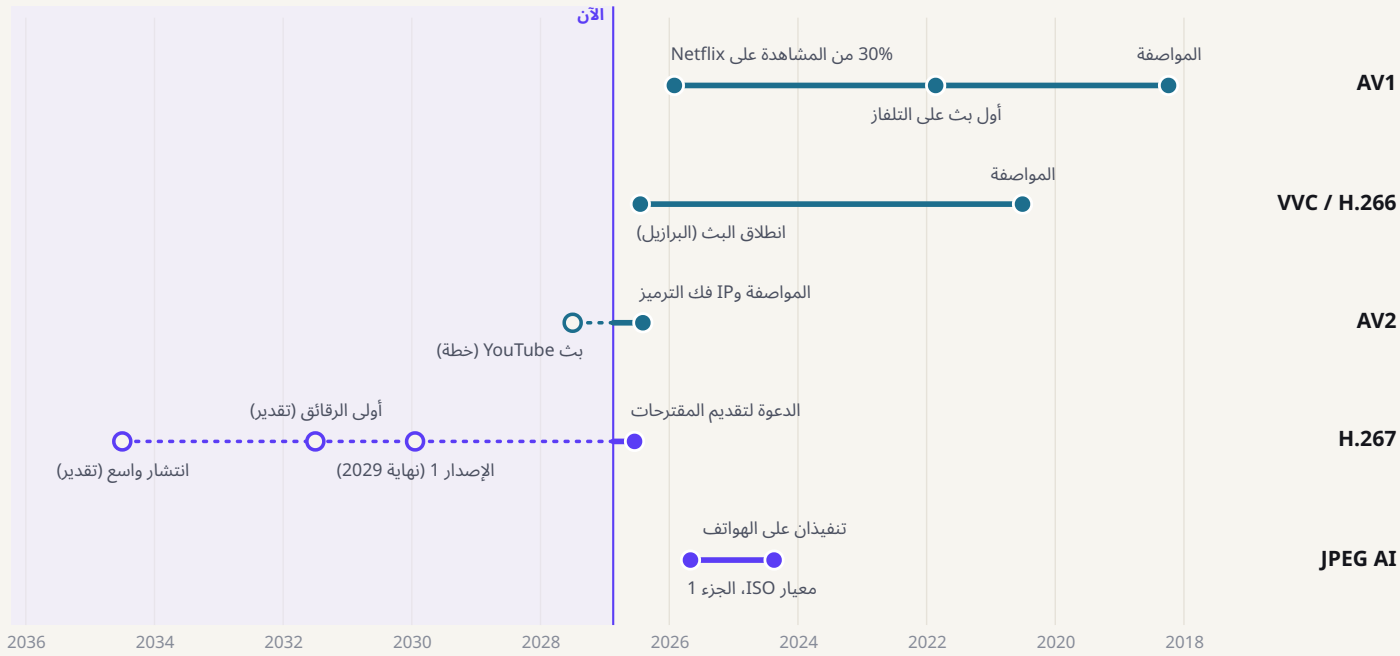
تختلف الجدوى الاقتصادية بحسب مكان عمل الشبكة. المعالجة على الخوادم تكلّف المنصة حوسبةً لكل فيديو تتناوله. والمعالجة على الجهاز لا تكلّف المنصة شيئاً؛ فهي تستخدم وحدة NPU دفع المشتري ثمنها بالفعل. ولهذا تأتي أكبر المكاسب في 2026 من الاثنين معاً.

لماذا لا يفك أي تلفاز ترميز تدفق بتات عصبي

صيغة التشغيل يجب أن يُفك ترميزها على كل جهاز سيشغّلها يوماً، وهذه الأجهزة تبقى في الخدمة سنوات. وهذا يجعل الطريق من معيار مكتمل إلى الشاشات واسعة الانتشار بطيئاً حتى للمرامز التقليدية. اكتملت مواصفة AV1 في مارس 2018؛ وتبعها مفكك الترميز البرمجي dav1d في غضون أشهر؛ وبثّته أجهزة التلفاز منذ أواخر 2021؛ وبلغ نحو 30% من المشاهدة على Netflix في ديسمبر 2025، بعد قرابة ثماني سنوات من المواصفة. واكتمل VVC في يوليو 2020 ووصل إلى أول خدمة بث له في يونيو 2026.

الشكل 03 **الانتقال من معيار مكتمل إلى الشاشات واسعة الانتشار يستغرق معظم عقد**

يحتاج التشغيل إلى مفكك ترميز عتادي في الجهاز. استغرق AV1 قرابة ثماني سنوات من اكتمال المواصفة إلى 30% من المشاهدة على Netflix؛ وأول معيار يُرجَّح أن يحمل أدوات عصبية مقرر في أواخر 2029.



المصدر: مدونة Netflix التقنية (ديسمبر 2025)؛ AOMedia؛ Allegro DVT؛ TV Technology؛ Fraunhofer IIS عن DTV+ في البرازيل؛ MPEG-155؛ لجنة JPEG؛ ISO. العلامات المفرغة أهداف أو تقديرات المؤلف.

يضيف تدفق البتات العصبي مشكلتين حلّتهما المراميز التقليدية منذ زمن: الطاقة لكل بكسل، وفك الترميز المتطابق على مستوى البت. ويتناول الفصل 8 كلتيهما. ومعاً تعنيان أن أي صانع تلفاز أو هاتف لن يضع مفكك ترميز فيديو عصبياً في كل جهاز قبل أن يحدد له معيارٌ بالضبط ما يجب أن يبنيه.

ما الذي قد يغيّر ذلك: H.267

المعيار الذي قد يحمل الأدوات العصبية إلى كل شاشة هو خليفة VVC، الذي تطوره ITU-T وISO/IEC معاً في فريق خبراء الفيديو المشترك (JVET). اسمه ليس نهائياً؛ وسأسميه H.267، كما يفعل كثيرون في الصناعة.

في أكتوبر 2025 قيّم JVET الردود على دعوة لتقديم الأدلة: خمسة ردود من 16 شركة ومختبراً بحثياً، مع اختبار 20 تهيئة للمرماز. ووجدت اللجنة أدلة على ضغط أفضل من VVC، ورأت أن التقنية التقليدية المحسَّنة وتقنية الشبكات العصبية كلتيهما «مثيرتان للاهتمام». وأظهرت المقاربات العصبية مكاسب إدراكية واضحة، لا سيما على محتوى 8K HDR، ومكاسب أصغر على محتوى الألعاب. وقدّمت InterDigital، وهي إحدى الجهات المستجيبة، تصميماً يقوم على نموذج الضغط المحسَّن التقليدي (ECM) وآخر يضيف أدوات ذكاء اصطناعي فوق VVC.

صدرت الدعوة الرسمية لتقديم المقترحات في اجتماع يوليو 2026 في جنيف. وكان موعد تسليم المقترحات الرئيسية نهاية أكتوبر 2026، وموعد حزمة تكميلية منتصف ديسمبر، وستُقيَّم الردود في اجتماع JVET في بريزبن في يناير 2027. ويتوقع JVET أول نموذج اختبار في النصف الثاني من 2027 وإصداراً أول من المعيار بحلول نهاية 2029، ويصف الجهد بأنه «على الأرجح جهد أكبر من أي جهد بُذل من قبل لإطلاق معيار جديد».

يضع المسار التقليدي عتبة مرتفعة. يوفر ECM، المبني بمعالجة إشارات تقليدية، قرابة 28% مقارنةً بمعيار VVC في تهيئة الوصول العشوائي. وتفيد أعمال الاستكشاف في الشبكات العصبية لدى JVET بمرشِّحات داخل الحلقة توفر نحو 6% بكلفة 10 آلاف عملية

ضرب وتجميع لكل بكسل، و8% بكلفة 22 ألفاً، و14% عند نقطة تشغيل عالية التعقيد. وقراءتي أن H.267 سيكون على الأرجح نواة تقليدية مع بضع أدوات عصبية حيث تبرر البتات الموفَّرة كلفة مفكك الترميز، وأن تقييم يناير 2027 سيُظهر عددها تحليل .

وثمة جسر قائم بالفعل. يمكن لتدفقات VVC وHEVC أن تحمل معلومات التحسين التكميلية (SEI) التي تصف مرشِّحاً لاحقاً عصبياً يطبّقه جانب فك الترميز، وقد وسّعت الطبعات الجديدة من VVC ومن معيار SEI الخاص به (VSEI)، التي اكتملت في أكتوبر 2025، هذه الرسائل. ويمكن للتدفق أن يحدد الشبكة التي تُشغَّل بعد فك الترميز دون أن يُلزم كل مفكك ترميز بتشغيلها.

ماذا يعني هذا للأعمال في مجال التشغيل

يع ما يعمل حول المرماز الآن: المعالجة المسبقة في جانب الترميز للخدمات، وكتل المعالجة اللاحقة وضبطها لرقائق التلفاز وأجهزة الاستقبال. لا تبنِ عملاً في التشغيل على تدفق بتات عصبي يجب أن يُفك ترميزه على أجهزة أطراف ثالثة قبل ثلاثينيات القرن. وإن كنت تصنع الرقائق، فالإيرادات القريبة في مفككات ترميز AV2 وVVC؛ والجزء العصبي مسار NPU للتحسين بجانبها (الفصل 8).

الفصل 03

التصوير والصور

03 التصوير والصور: عصبي داخل الكاميرا، تقليدي على الويب

سلسلة معالجة الكاميرا عصبية بالفعل

كل صورة من هاتف رائد حديث مرّت عبر شبكات عصبية قبل ضغطها. قدّم Snapdragon 8 Gen 2 من Qualcomm، في هواتف 2023، معالج «Cognitive ISP» الذي يُجري التجزئة الدلالية الآنية أثناء التقاط الصور والفيديو، فيضبط الوجوه والشعر والسماء والخلفيات كلاً على حدة؛ وكان Galaxy S23 Ultra من Samsung أول هاتف يستخدمه في كاميرا السيلفي. وفي يناير 2026 عرضت Chips&Media وVisionary.ai في CES ما تسميانه أول ISP كامل قائم على الذكاء الاصطناعي: سلسلة تصوير من طرف إلى طرف تعمل بالكامل على NPU، هي WAVE-N من Chips&Media، بفاصلة عائمة 16 بت، دون ISP ثابت الوظيفة، ويمكن تحديثها عبر الأثير. وقال الرئيس التنفيذي لشركة Visionary.ai: «السلاسل الحالية تُلحق كتلاً عصبية بمعالج ISP ثابت الوظيفة. أما نحن فنستبدل الـISP التقليدي بالكامل». وعُرض على الشركات المصنّعة لتقييمه بعد المعرض.

ثم تُحفظ النتيجة بصيغة JPEG أو HEIF، وهما صيغتان تقليديتان يستطيع أي جهاز فتحهما. والنمط هو نفسه في التشغيل: عصبي داخل سلسلة معالجة شركة واحدة، وقياسي عند الحدود.

JPEG AI: معيار عصبي مكتمل بلا منتج بعد

JPEG AI هو أول معيار لترميز الصور المتعلَّم من ISO/IEC وITU-T (ISO/IEC 6048، ITU-T T.840). نُشر الجزء 1، نظام الترميز الأساسي، في 2025. وتفيد لجنة JPEG بمكاسب ضغط من 12.5% إلى 27.9% مقارنةً بترميز VVC داخل الإطار، عبر نطاق من تعقيد مفكك الترميز يمتد من 7 إلى 216 ألف عملية ضرب وتجميع لكل بكسل. ويضم تصميمه مرمِّزَين وثلاثة مفككات ترميز، دُرِّبت معاً، بحيث يستطيع جهاز الاستقبال تنفيذ مفكك ترميز واحد فقط ويظل قادراً على قراءة كل تدفق. وبحلول مايو 2024 أفادت اللجنة بتنفيذين على الهواتف الذكية. وبالتوازي، نشرت IEEE في ديسمبر 2024 المعيار IEEE 1857.11-2024، وهو معيار لترميز الصور القائم على الشبكات العصبية مصمم لوحدات NPU.

وحتى نوفمبر 2026 لم أجد كاميرا هاتف أو تطبيق صور أو متصفحاً يكتب JPEG AI أو يقرؤه افتراضياً.

ما اعتمده الويب بدلاً منه: JPEG XL

صيغة الصور التي كسبت أرضاً فعلاً في 2026 تقليدية. في 6 أكتوبر 2026 فعّلت Google فك ترميز JPEG XL افتراضياً في Chrome 155، باستخدام مفكك ترميز جديد آمن للذاكرة مكتوب بلغة Rust، بعد أربع سنوات من إزالتها الدعم التجريبي. ويفك Safari ترميز JPEG XL منذ 2023، وتتجه Mozilla الاتجاه نفسه. وحجة Google لصالحها: ضغط أفضل من JPEG، وإعادة ضغط ملفات JPEG الموجودة دون فقد، وHDR، وفك الترميز التدريجي.

والدرس قابل للتعميم. الصيغة التي يجب أن تُفتح في كل مكان تفوز بمفكك ترميز سريع وحتمي يعمل على أي CPU ويمكن جعله آمناً للذاكرة. أما مفكك ترميز الصور العصبي فيحتاج إلى NPU أو GPU وإلى حساب متطابق تماماً عبر الأجهزة. يفوز الترميز العصبي داخل سلسلة معالجة الجهاز نفسه، وفي الأنظمة التي ترمّز فيها الشركة نفسها وتفك الترميز، مثل خدمة صور سحابية لا تسلّم الملف المضغوط لأي طرف آخر أبداً.

ماذا يعني هذا للأعمال في مجال التصوير

المال في سلسلة الالتقاط: نوى IP لمعالجات ISP بالذكاء الاصطناعي، ووحدات NPU بحجم يناسب التصوير، وأعمال الضبط التي يشتريها صانعو الكاميرات. أما للتخزين والتوصيل، فمرماز الصور المتعلَّم أداة للأنظمة المغلقة اليوم، لا صيغة يُراهَن عليها.

الفصل 04

المكالمات والاجتماعات

04 المكالمات والاجتماعات: حيث تُطرح المراميز العصبية من طرف إلى طرف فعلاً

الصوت سبق

قدّمت Microsoft في فبراير 2021 مرماز الكلام Satin المدعوم بالذكاء الاصطناعي، وقالت إنه مستخدم بالفعل في كل المكالمات الثنائية في Teams وSkype. يقدّم Satin كلاماً فائق عرض النطاق، بعرض نطاق صوتي يصل إلى 16 kHz، عند 6 kbps، بينما كان مرماز Silk السابق في Skype ضيق النطاق عند هذا المعدل. ويُنفَق معدل البت الذي يوفره على التكرار، فتصمد المكالمات أمام فقد الحزم بشكل أفضل.

MLVC: مرماز فيديو عصبي في مكالمات فعلية

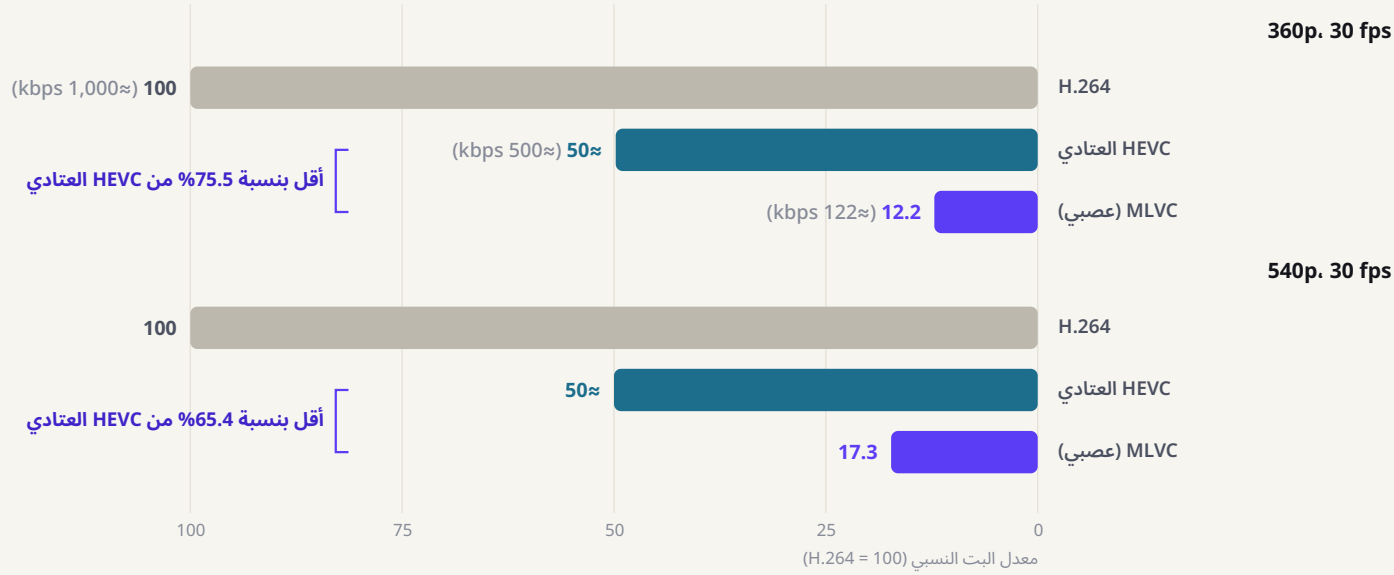
في 24 يوليو 2026 أصدرت Microsoft مرماز الفيديو القائم على التعلم الآلي MLVC مفتوح المصدر بترخيص MIT، مع شيفرة النموذج، والأوزان المدرَّبة، ونصوص التدريب البرمجية، وأدوات التحويل التي تستهدف وحدات NPU مختلفة. وMLVC هو نسخة المنتَج من عائلة DCVC التي تنشرها Microsoft Research منذ 2021. وتقول Microsoft إنها تطرح MLVC تدريجياً في Teams للمكالمات من نظير إلى نظير، مع القياس عن بُعد المباشر واختبارات A/B والمراميز التقليدية بديلاً احتياطياً.

يعمل MLVC بدقتَي 540p و360p بمعدل 30 إطاراً في الثانية، وهو مُهندَس كي لا يستخدم أكثر من نصف وحدة NPU على Neural Engine من Apple وعلى وحدات NPU من Qualcomm وIntel، مع تقسيم العمل بين CPU وNPU. وفي اختبارات ذاتية وفق ITU-T P.910 على مجموعة بيانات مؤتمرات الفيديو الخاصة بـMicrosoft، احتاج إلى معدل بت أقل بنسبة 87.8% من H.264 وبنسبة 75.5% من HEVC العتادي عند 360p، وأقل بنسبة 82.7% و65.4% عند 540p ادعاء المورّد . وعند 360p يعني ذلك قرابة 122 kbps حيث يحتاج H.264 إلى نحو 1 Mbps.

الشكل 04

في المكالمات، يتفوق مرماز عصبي على HEVC العتادي بنسبة 65–76%

معدل البت اللازم للجودة المقيَّمة نفسها على مجموعة اختبار مؤتمرات الفيديو لدى Microsoft، حيث H.264 = 100. يعمل MLVC على وحدات NPU في الحواسيب المحمولة والهواتف بدقة تصل إلى 540p30، مستخدماً نصف وحدة NPU على الأكثر.



المصدر: Microsoft، إعلان إصدار MLVC (24 يوليو 2026): اختبارات ذاتية وفق ITU-T P.910 على مجموعة بيانات مؤتمرات الفيديو الخاصة بها. أعمدة HEVC مشتقة من نسب التوفير المعلنة. ادعاءات المورّد، لا قياسات مستقلة.

أمران يخففان من وقع الرقم اللافت. فنسبة 88% هي مقارنةً بـH.264؛ أما مقارنةً بـHEVC العتادي الموجود أصلاً في الحواسيب المحمولة نفسها فهي 65–76%، ولا تزال كبيرة. كما تخلّى MLVC عن بعض الضغط كي يصبح قابلاً للنشر: يشير تحليل مستقل إلى أن DCVC-RT المدرَّب إدراكياً يسجل 81.9% على المقياس نفسه حيث يسجل MLVC نسبة 75.5%. وكان ثمن فك الترميز المتطابق على عتاد لا تملكه Microsoft نحو ست نقاط.

لماذا المكالمات هي الموطن الطبيعي

المكالمة حلقة مغلقة. يشغّل الطرفان التطبيق نفسه، ويتفاوضان على قدراتهما في بداية المكالمة، ويمكنهما الرجوع إلى مرماز قياسي في منتصفها. ودرجات الدقة متواضعة، والشبكات ضعيفة في الغالب، والحواسيب المحمولة على الطرفين باتت تُشحن مزوّدة بوحدات NPU، كما هي حال الهواتف منذ سنوات. تضع Microsoft عتبة 40 TOPS لوحدة NPU في حواسيب الذكاء الاصطناعي لديها، وتبلغ القدرة المعلنة لمحرك Neural Engine في M4 من Apple ما مقداره 38 TOPS. كل شرط يعيق المرماز العصبي في التشغيل غائب هنا.

الأمثلة المضادة: Opus وMLow

لم تتخذ كل منصات الاتصال الخيار نفسه، وفي الأسباب عبرة.

أضاف Opus، مرماز الصوت المفتوح في WebRTC ومعظم تطبيقات الاتصال، التعلم العميق في الإصدار 1.5 (مارس 2024)، وهو أول استخدام فيه للشبكات لمعالجة الإشارة نفسها أو توليدها. لكنه أضافها خيارات: تحسين في جانب فك الترميز (LACE وNoLACE) لا يحتاج إلى أي تغيير في تدفق البتات، وإخفاء عصبي لفقد الحزم، ومخطط تكرار عميق (DRED)؛ وكلها معطّلة افتراضياً كي لا تُثقل الأجهزة القديمة. وأضاف Opus 1.6 توسيعاً عصبياً لعرض النطاق ونموذج DRED أصغر بثلاث مرات، ويبقى متوافقاً تماماً مع معيار 2012. والمقاربة هي «داخل معيار، اختيارية ومتوافقة مع الإصدارات السابقة».

وعادت Meta خطوة أبعد إلى الوراء. ففي يونيو 2024 أطلقت MLow، مرماز كلام منخفض معدل البت مبنياً على معالجة الإشارات التقليدية لا على شبكة، وهو الآن في كل مكالمات Instagram وMessenger ويُطرح تدريجياً على WhatsApp. وكانت أسباب Meta أجهزتها: أكثر من 20% من مكالماتها تجري على هواتف ARMv7، وعشرات الملايين من مكالمات WhatsApp يومياً تجري على هواتف يزيد عمرها على عشر سنوات. وكتبت Meta أن المرامير العصبية، بما فيها EnCodec الخاص بها، لا تعمل بموثوقية إلا على الهواتف الباهظة. ويقدّم MLow نحو ضعف جودة Opus عند 6 kbps مع حوسبة أقل بنسبة 10%.

بالنسبة إلى خدمة يمتد مستخدموها من الحواسيب المحمولة الرائدة إلى هواتف عمرها عقد، ميزانية التعقيد هي التي تحسم. تُطرح المرامير العصبية أولاً حيث قاعدة الأجهزة المستخدمة حديثة والمورّد يتحكم في الطرفين.

ماذا يعني هذا للأعمال في مجال الاتصالات

مؤتمرات المؤسسات، والحضور عن بُعد، والمساعدة عن بُعد، ووصلات التغذية، والشبكات الخاصة هي الأماكن التي يكون فيها المرماز العصبي من طرف إلى طرف منتَجاً اليوم، شرط أن يكون الطرفان لك. خطط لثلاثة أمور منذ البداية: مرماز احتياطي، واختبارات فك ترميز على كل NPU تدعمها، وتقييم للجودة على محتواك أنت لا على مجموعة بيانات المورّد.

الفصل 05

الذكاء الاصطناعي التوليدي

05 الذكاء الاصطناعي التوليدي: أكبر انتشار لا يسميه أحد مرمازاً

كل نموذج للصوت والفيديو يعمل على مرماز متعلَّم

أكبر انتشار للضغط العصبي من طرف إلى طرف ليس في أي معيار ترميز. إنه داخل الذكاء الاصطناعي التوليدي. نموذج الكلام لا يستمع إلى الموجات الصوتية ولا ينتجها مباشرة: بل يقرأ ويكتب الرموز المنفصلة لمرماز صوت متعلَّم. يحوّل Mimi من Kyutai، الصادر في 2024، الكلام إلى رموز بمعدل 12.5 إطار في الثانية و1.1 kbps، وهو أقل من أي مرماز هاتفي، جامعاً المعلومات الدلالية والصوتية في تدفق واحد. وEnCodec من Meta، المنشور في 2022، مثال آخر؛ وقد وصف مهندسو Meta أنفسهم لاحقاً هذه المرامير بأنها ممتازة عند معدلات البت المنخفضة لكنها أثقل من أن تعمل على الهواتف الأقدم (الفصل 4).

ويعمل توليد الفيديو بالطريقة نفسها. يولّد نموذج انتشار أو نموذج محوِّل (transformer) في الفضاء الكامن لمرمِّز ذاتي متعلَّم للفيديو (VAE)، ثم يحوّل مفكك ترميز VAE النتيجة إلى بكسلات. يضغط VAE في LTX-Video الفيديو بنسبة 1:192: كل رمز كامن يمثل كتلة من 32×32 بكسل عبر 8 إطارات، مع 128 قناة. ويُجري مفكك ترميزه أيضاً خطوة إزالة الضوضاء الأخيرة، فهو يولّد التفاصيل جزئياً بدلاً من الاقتصار على إعادة بنائها.

لماذا ليست هذه صيغ توزيع

تعمل هذه المرامير مع كل طلب يُرسَل إلى نموذج صوت أو فيديو، لكن لا شيء منها صيغة يفك ترميزها أي طرف آخر. لكل نموذج فضاؤه الكامن الخاص؛ ولا يوجد تحكم في معدل البت، ولا اختبار مطابقة، ولا ضمان بأن مفكك ترميز مختلفاً سينتج الصورة نفسها. إنها مصممة لجودة التوليد، لا للأمانة للأصل عند معدل بت معيّن، ويُفك ترميزها على وحدات GPU في مراكز البيانات. ونجاحها يُظهر أن الضغط المتعلَّم يعمل على نطاق واسع حين تملك شركة واحدة المرمِّز ومفكك الترميز والعتاد.

ماذا يعني هذا للأعمال

نقطتان عمليتان. أولاً، كفاءة مجزِّئ الرموز بند كلفة مباشر لكل من يقدّم فيديو أو صوتاً توليدياً: ففي المحوِّل الذي يطبّق الانتباه على كل الرموز، تنمو الحوسبة أسرع من عدد الرموز، ولذلك يخفض التمثيل الكامن الأعلى ضغطاً كلفة التوليد بنسبة تفوق زيادة الضغط **تحليل** . ومهندسو المرامز الذين يفهمون تصميم التمثيلات الكامنة ونماذج الإنتروبيا وكفاءة مفككات الترميز ذوو قيمة لفرق الذكاء الاصطناعي التوليدي. ثانياً، الحدود تتحرك: بدأت هيئات المعايير العمل على الترميز للآلات بدلاً من البشر. فقد بلغ معيار «ترميز الفيديو للآلات» من MPEG (ISO/IEC 23888-2) مرحلة مسودة المعيار الدولي في أوائل 2026 ومن المخطط أن يصبح نهائياً في أواخر 2026، كما صُمم JPEG AI منذ البداية لخدمة مهام الرؤية الحاسوبية إلى جانب المشاهدة البشرية.

الفصل 06

الألعاب والرسوميات

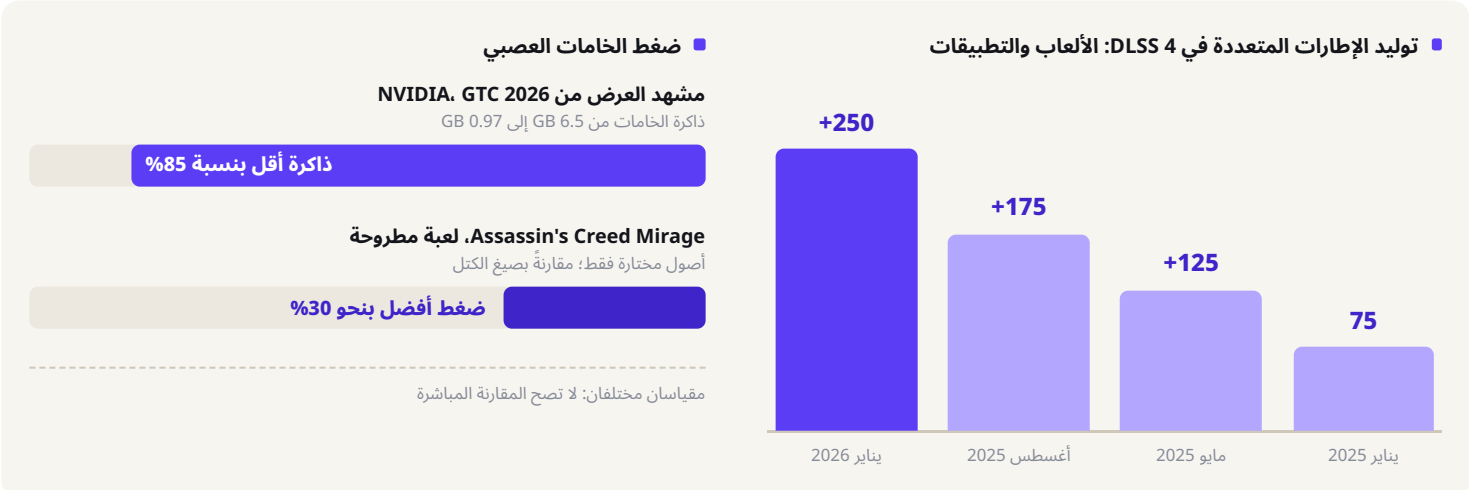
06 الألعاب والرسوميات: إعادة البناء العصبية سائدة، والأصول العصبية في بدايتها

تصيير بكسلات أقل وترك الشبكة تملأ الباقي

في الرسوميات الآنية، تعيد شبكة عصبية بالفعل بناء معظم ما يراه اللاعبون. تُصيِّر DLSS من NVIDIA بكسلات أقل وإطارات أقل وتستخدم الشبكات لإنتاج الباقي. انطلقت DLSS 4 مع توليد الإطارات المتعددة في يناير 2025 بدعم في 75 لعبة وتطبيقاً؛ وأحصت NVIDIA أكثر من 125 بحلول مايو 2025، وأكثر من 175 بحلول أغسطس، وأكثر من 250 بحلول يناير 2026، حين أعلنت DLSS 4.5 بنموذج محوِّل من الجيل الثاني للدقة الفائقة. هذا مفكك ترميز في كل شيء إلا الاسم: «تدفق البتات» إطار منخفض الدقة مع بيانات الحركة، والشبكة تعيد بناء الصورة الكاملة.

الشكل 05 **حين تتحكم شركة واحدة في المنظومة كلها، تنتشر إعادة البناء العصبية بسرعة**

على اليمين: الألعاب والتطبيقات التي تدعم توليد الإطارات المتعددة في DLSS 4 من NVIDIA. على اليسار: ضغط الخامات العصبي في مشهد عرض توضيحي وفي لعبة مطروحة لم تستخدمه إلا في أصول مختارة بسبب كلفته وقت التشغيل.



المصدر: NVIDIA (من يناير 2025 إلى يناير 2026؛ عرض GTC 2026)؛ Ubisoft La Forge (فبراير 2026). ادعاءات المورّدين؛ ورقما الخامات يقيسان أمرين مختلفين.

الخامات العصبية طُرحت، بانتقائية

تُضغط الخامات بصيغ كتل ثابتة (BCn) تفك وحدات GPU ترميزها عتادياً. ويضع ضغط الخامات العصبي مكان مجموعة من خامات المادة تمثيلاً كامناً مدمجاً وشبكة صغيرة تعيد بناء عناصر الخامة (texels) عند الحاجة إليها. في فبراير 2026 وصف مختبر La Forge لدى Ubisoft طرحه في Assassin's Creed Mirage، وهي لعبة من 2023، بضغط فعلي أعلى بنحو 30% من الصيغ التقليدية عند الجودة المرئية نفسها ادعاء المورّد. ولم يُستخدم في كل مكان: «كان الاستخدام مقيداً بأداء وقت التشغيل»، ولذلك طبّقته Ubisoft على مجموعة فرعية من الأصول ذات أعداد النسخ العالية والضغط الشديد على الذاكرة.

وتُظهر حزمة RTX Neural Texture Compression SDK من NVIDIA، المتاحة في مرحلة تجريبية على GitHub، السقف الممكن. ففي عرض توضيحي في GTC 2026، احتاج مشهد فيلا كان يستخدم 6.5 GB من ذاكرة الخامات مع BCn إلى 970 MB مع الخامات العصبية، أي أقل بنسبة 85% ادعاء المورّد. وتوفر الحزمة مسارين: فك الترميز عند التحميل إلى BCn، ما يوفر مساحة القرص وحجم التنزيل لكنه لا يوفر ذاكرة الفيديو، أو فك الترميز عند أخذ العينات، ما يوفر الذاكرة لكنه يكلّف وقت المظلِّلات في كل إطار.

واجهة البرمجة في الطريق

تضيف واجهات برمجة الرسوميات عمليات المصفوفات التي يحتاجها فك الترميز العصبي داخل المظلِّلات. أطلقت Microsoft نموذج المظلِّلات Shader Model 6.9 في فبراير 2026؛ وضُمّت ميزة المتجهات التعاونية (cooperative vector) التي عرضتها في معاينة في 2025 إلى تصميم موحَّد للجبر الخطي لنموذج مظلِّلات لاحق، ودخلت DirectX Linear Algebra مرحلة المعاينة العامة في أبريل 2026. وحين يصبح ذلك في كل برنامج تشغيل، يمكن لمفكك ترميز خامات عصبي أن يعمل على GPU أي مورّد من مسار برمجي واحد.

ماذا يعني هذا للأعمال

تطرح الألعاب فك الترميز العصبي لأن شروط الحلقة المغلقة متوافرة: محرك واحد، وسلسلة أصول واحدة، وعتاد الموتّرات في GPU، وصيغة احتياطية. والعمل المفتوح في الأدوات، وسلاسل الأصول التي ترمّز المواد العصبية، وبيئات التشغيل العابرة للمورّدين، وقبل كل شيء في الأجهزة المحمولة، حيث تحسم كلفة الطاقة لكل عنصر خامة يُفك ترميزه.



الـفصل 07

الوصلات المتخصصة

07 الوصلات المتخصصة: الأقمار الصناعية والطائرات المسيّرة والروبوتات

هذه هي الحالات التي يلائمها الترميز العصبي من طرف إلى طرف أكثر من غيرها على الورق. مالك واحد يتحكم في طرفي الوصلة، وعرض النطاق شحيح والوصلة عرضة للفقد، والمحتوى ضيق بما يكفي لتدريب نموذج عليه، وكثيراً ما تكفي صورة أمينة للأصل إدراكياً أو حتى دلالياً. والمراميز العصبية المقاومة للفقد لهذه الوصلات مجال بحثي نشط، واستعادة جودة التغذيات منخفضة معدل البت على الخوادم مستخدمة فعلاً.

وهي أيضاً سوق صغيرة وخاضعة لتنظيم متزايد مقارنةً بفيديو المستهلكين تحليل . ففي الصين، يعدّل الإعلان رقم 49 لعام 2026، الذي أصدرته وزارة التجارة وجهتان أخريان في 19 أكتوبر ويسري اعتباراً من 18 نوفمبر 2026، ضوابط التصدير على 13 فئة من المواد المتعلقة بالطائرات المسيّرة. ومن بين بنود التقنية، يغطي أحدها المنصات الأرضية غير المأهولة المعزَّفة جزئياً بعتبات مثل ضغط دلالي للصور بنسبة 75% وإعادة بناء الصورة في غضون 150 مللي ثانية، بحسب ما أوردته الصحافة المتخصصة. لقد أصبح الضغط الدلالي نفسه معاملاً من معاملات ضوابط التصدير. وفي الولايات المتحدة، أضافت لجنة الاتصالات الفيدرالية الطائرات المسيّرة الأجنبية الصنع ومكوناتها الحيوية إلى «القائمة المشمولة» لديها في 22 ديسمبر 2025، فلم يعد بإمكان الطرازات الأجنبية الجديدة الحصول على ترخيص المعدات.

الخلاصة: شريحة سوقية متينة لشركة متخصصة لديها عملاء صناعيون أو حكوميون والقدرة على إدارة الامتثال لضوابط التصدير على الجانبين، لكنها ليست سوقاً واسعة، وليست المكان الذي يُعرف فيه ما إذا كان الترميز العصبي يعمل على نطاق واسع.



الـفصل 08

الرقائق

08 منظور الرقائق: الطاقة والحوسبة والذاكرة والتطابق

هذا هو الفصل الذي تكتسب فيه خلفيتي أكبر أهمية. لديّ سنوات عديدة من البحث والتطوير والإدارة في تصميم الرقائق دون مصانع (fabless)، بما في ذلك تصميم مسارات البيانات في دوائر ASIC بأسلوب التصميم المخصّص بالكامل، ومشاريع رقائق كاميرات الوسائط المتعددة مثل مسرّعات مراميز الفيديو، والأسئلة التي يطرحها فريق الرقائق عن مرماز جديد لا تتعلق بمقياس BD-rate. بل هي: كم جولاً لكل بكسل، وكم بايتاً من حركة بيانات DRAM لكل بكسل، وكم بوابة، وهل يستطيع كل مفكك ترميز في العالم حساب البتات نفسها تماماً؟ وفي الأربعة كلها، يقف مفكك الترميز العصبي في 2026 حيث كان HEVC العتادي قبل رقائقه الأولى: واعد في البرمجيات، ومكلف في السيليكون.

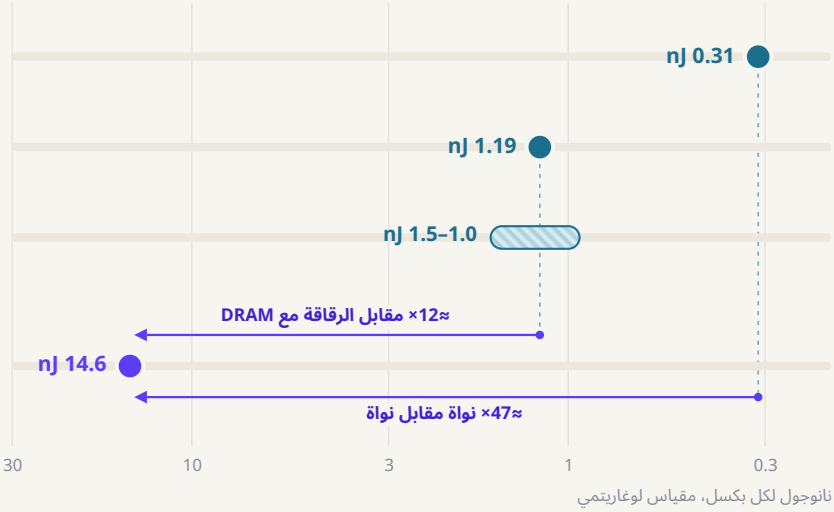
الطاقة لكل بكسل: فارق برتبة مقدار

قلة من مفككات الترميز العصبية صُممت رقائقَ، ولذلك تستند المقارنة إلى حفنة من التصاميم المنشورة. المرجع على الجانب التقليدي هو رقاقة فك ترميز HEVC من MIT (Tikekar et al.، ISSCC 2013 وIEEE JSSC 2014): بتقنية 40 nm، ومساحة 1.77 mm²، وتفك ترميز 4K بمعدل 30 إطاراً في الثانية عند 200 MHz. تستهلك نواتها 78 mW، أي 0.31 nJ لكل بكسل؛ ومع احتساب قدرة DRAM المحاكاة، يحتاج النظام إلى 1.19 nJ لكل بكسل. أما في VVC فأرقام الإنتاج مملوكة لأصحابها؛ ويتوقع تحليل نُشر في Electronic Design في 2026، بعد تحجيم رقاقة MIT إلى 28 nm وتطبيق التعقيد الأعلى لمعيار VVC، قيمة 1–1.5 nJ لكل بكسل لمفكك ترميز 4K60 بنحو مليون بوابة.

وعلى الجانب العصبي، فإن التصميم الوحيد المنشور لدائرة ASIC لفك ترميز فيديو عصبي من طرف إلى طرف، بحسب إحصاء Electronic Design، هو NVCA (Zhang et al.، DATE 2024)، المولَّف بتقنية TSMC 28 nm مع 5.01 مليون بوابة، دون احتساب أوزانه الموجودة خارج الرقاقة. ويفك ترميز 1080p بمعدل 25 إطاراً في الثانية عند 760 mW، أي 14.6 nJ لكل بكسل.

الشكل 06 **طاقة فك ترميز البكسل: مفككات الترميز ثابتة الوظيفة متقدمة برتبة مقدار**

يحتاج التصميم الوحيد المنشور لرقاقة فك ترميز فيديو عصبي إلى نحو 12 ضعف طاقة البكسل في رقاقة فك ترميز HEVC مقيسة محسوبة مع ذاكرتها DRAM، ونحو 47 ضعف نواتها وحدها. ولا تُحتسب حركة الأوزان وDRAM الخاصة بالتصميم العصبي.



رقاقة فك ترميز HEVC، النواة
40 nm، عند 4K30، مقيسة

رقاقة فك ترميز HEVC مع DRAM
40 nm، عند 4K30، نواة مقيسة مع DRAM بالمحاكاة

مفكك ترميز VVC
28 nm، عند 4K60، توقُّع

مفكك ترميز فيديو عصبي (NVCA)
28 nm، عند 1080p25، توليف فقط؛ دون احتساب الأوزان وDRAM

عند 1080p30 يعني ذلك نحو 74 mW مقابل 908 mW.

المصدر: Tikekar et al., IEEE JSSC 2014 (MIT)؛ NVCA، Zhang et al., DATE 2024 (arXiv 2312.10716)؛ ونطاق VVC من توقعات Electronic Design (2026). رقاقة HEVC على عقدة تصنيع أقدم (40 nm مقابل 28 nm)، ما يحابي التصميم العصبي.

هذا نحو 12 ضعف رقاقة HEVC محسوبة مع ذاكرتها DRAM، ونحو 47 ضعف نواتها وحدها. والمقارنة تحابي NVCA من ثلاث نواحٍ: رقاقة HEVC على عقدة تصنيع أقدم، ورقم NVCA يُغفل حركة الأوزان وDRAM، وNVCA نتيجة توليف لا سيليكون مقيس. وعند 1080p30 يكون الفرق نحو 74 mW مقابل قرابة 900 mW: مفكك ترميز لا يلاحظه أحد، مقابل آخر يظهر أثره في بطارية الهاتف وميزانيته الحرارية.

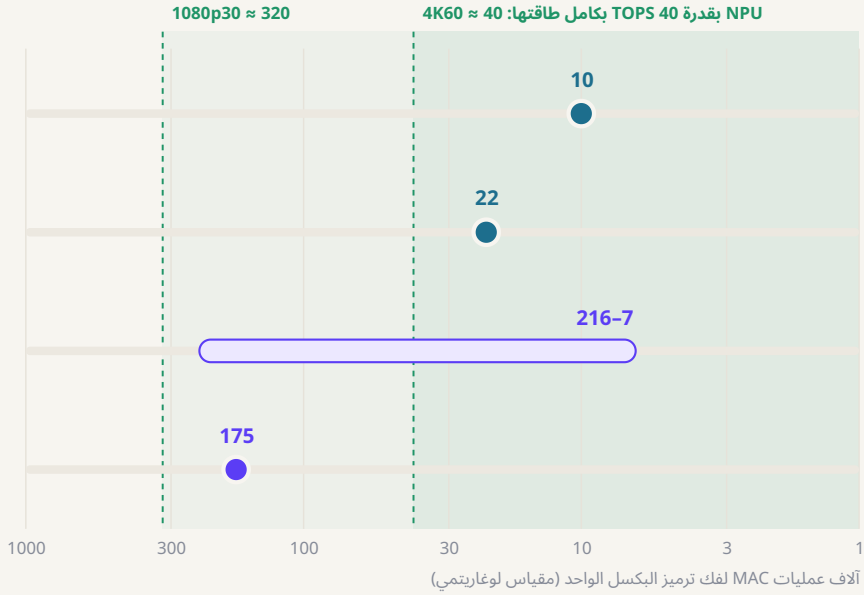
الحوسبة لكل بكسل: ما يطلبه مفكك الترميز العصبي من وحدة NPU

أسرع مرماز فيديو عصبي منشور وجدته هو DCVC-RT من Microsoft Research (Jia et al., CVPR 2025). يرمّز 1080p ويفك ترميزها بمعدل 125 و113 إطاراً في الثانية على GPU من نوع NVIDIA A100، مع توفير 21% من معدل البت مقارنةً بمرمِّز VVC المرجعي في إعداد الاختبار الوارد في الورقة، ويستخدم حساب الأعداد الصحيحة كي تفك الأجهزة المختلفة الترميز بصورة متسقة. وتسرد مواده التكميلية تعقيد كل وحدة. وبجمع الوحدات الأربع التي يجب على مفكك الترميز تشغيلها (مفكك الترميز، ومستخلص السمات، ونموذج الإنتروبيا، وإعادة البناء)، أحصل على نحو 175 ألف عملية ضرب وتجميع لكل بكسل يُفك ترميزه **تقدير**.

عند 1080p30 يعني ذلك نحو 11 تريليون عملية ضرب وتجميع في الثانية، أي نحو 22 TOPS بحساب عمليتين لكل MAC، قبل أي خسارة في معدل الاستخدام؛ ويحتاج 4K60 إلى ثمانية أضعاف ذلك **تقدير**. وللمقارنة، تعرّف Microsoft حواسيب الذكاء الاصطناعي لديها بوحدة NPU لا تقل عن 40 TOPS، وتصنّف Apple قدرة Neural Engine في M4 عند 38 TOPS. وهذه أرقام ذروة، تتقاسمها كل المهام الأخرى التي يؤديها الجهاز.

الشكل 07 **الأداة العصبية تكلّف عشرات الآلاف من عمليات MAC لكل بكسل، ومفكك الترميز العصبي الكامل يكلّف مئات الآلاف**

عمليات الضرب والتجميع في مفكك الترميز لكل بكسل، على مقياس لوغاريتمي، مقابل ما تتحمله وحدة NPU بقدرة 40 TOPS مستخدمة بالكامل عند 4K60 وعند 1080p30. المكاسب مقيسة مقابل مراجع مختلفة ولا تصح مقارنتها مباشرة.



مرشِّح عصبي داخل الحلقة، تعقيد منخفض جداً
استكشاف JVET · توفير ≈6% من البتات
1.2 TOPS عند 1080p30 و10 عند 4K60

مرشِّح عصبي داخل الحلقة، تعقيد منخفض
استكشاف JVET · ≈8%
2.7 TOPS عند 1080p30 و22 عند 4K60

مفككات ترميز JPEG AI، من الأساسي إلى العالي
27.9%–12.5 مقابل VVC داخل الإطار

DCVC-RT، مفكك ترميز فيديو عصبي كامل
21% مقابل مرجع VVC، في إعداد الورقة
22 TOPS عند 1080p30 و174 عند 4K60

المصدر: JVET عبر رئيس SC 29 (أبريل 2026)؛ لجنة JPEG (2024)؛ DCVC-RT، المواد التكميلية لورقة CVPR 2025، ومجموع المؤلف لوحدات مفكك الترميز؛ تعريف Microsoft لحواسيب Copilot+ PC. حسابات المؤلف: عمليتان لكل MAC، واستخدام كامل.

السُّلّم في الشكل 7 هو الطريقة المفيدة لقراءة المجال. الأدوات العصبية التي تكلّف عشرات الآلاف من عمليات MAC لكل بكسل، مثل مرشِّحات JVET داخل الحلقة (توفير نحو 6% بكلفة 10 آلاف، و8% بكلفة 22 ألفاً)، ممكنة داخل مفكك ترميز قياسي مستقبلي. ويمتد JPEG AI عبر النطاق، من 7 إلى 216 ألف عملية MAC لكل بكسل مقابل 12.5–27.9% أفضل من VVC داخل الإطار. أما مفكك ترميز فيديو عصبي كامل بكلفة نحو مئتي ألف عملية MAC لكل بكسل فمكانه على NPU، بدقة متواضعة، في حلقة مغلقة. وهذا بالضبط موقع MLVC: دقة 540p30، مستخدماً نصف وحدة NPU على الأكثر.

حركة بيانات الذاكرة، لا عمليات MAC، هي غالباً الحد الحقيقي

وجد مؤلفو DCVC-RT أن ما حدّ من السرعة لم يكن الحساب بل «الكلفة التشغيلية»: إدخال الذاكرة وإخراجها وعدد استدعاءات الدوال. وقد أزالوا وحدات الحركة الصريحة والمعالجة متعددة المقاييس لهذا السبب إلى حد كبير. وبنى مصممو NVCA تدفق بيانات خاصاً لتقليل حركة البيانات مع الذاكرة خارج الرقاقة الناتجة عن سمات الحركة والبواقي. سيتعرف مصمم الرقائق على هذا النمط. ففي رقاقة HEVC من MIT، تستهلك DRAM نحو ثلاثة أرباع طاقة النظام (0.88 من 1.19 nJ لكل بكسل)، حتى بعد ذاكرة تخزين مؤقت خفّضت عرض نطاق DRAM بنسبة 67% تحليل . ومفكك الترميز العصبي الذي يحتفظ بخرائط سمات كبيرة متعددة القنوات بين الإطارات يجعل مشكلة الذاكرة أسوأ، لا أفضل.

التطابق: على كل مفكك ترميز أن يحسب البتات نفسها

لا يعمل ترميز الإنتروبيا إلا إذا طابق نموذج الاحتمالات في مفكك الترميز نظيره في المرمِّز تماماً. في المرماز التقليدي يكون هذا النموذج جدولاً أو مجموعة صغيرة من القواعد بالأعداد الصحيحة. أما في المرماز العصبي فهو شبكة، وأي فرق في حساب الفاصلة العائمة بين جهازين، ناتج عن نواة حسابية مختلفة أو ترتيب تجميع مختلف أو NPU مختلفة، قد يجعل مفكك الترميز يقرأ رموزاً خاطئة ويفقد التدفق من تلك النقطة فصاعداً.

كل من طرح مرمازاً عصبياً أو أدخله في معيار اضطر إلى معالجة هذا هندسياً. يحوّل DCVC-RT نموذجه إلى أعداد صحيحة لترميز متسق عبر الأجهزة. ويستخدم MLVC تصميماً بتوزيع مسبق فائق مشترك المقياس كي يصمد أمام عدم التطابق بين المنصات، وهذا على الأرجح جزء من سبب تخليه عن بعض الضغط مقارنةً بـDCVC-RT. تحليل وتمرر أعمال الاستكشاف في الشبكات العصبية لدى JVET كل شبكة عبر SADL، وهي مكتبة صغيرة للاستدلال بأعداد صحيحة 16 بت. ويحدد JPEG AI نقاط مطابقة في مجالات القيم الكامنة والبواقي والبكسلات. وبالنسبة إلى فريق الرقائق، هذا هو الانضباط نفسه الذي فرضته التحويلات الصحيحة في HEVC: يجب أن يحدد المعيار العمليات الحسابية بدقة تامة، ما يقيّد تصميم الشبكة ويستبعد الاختصارات الخاصة بكل مورّد.

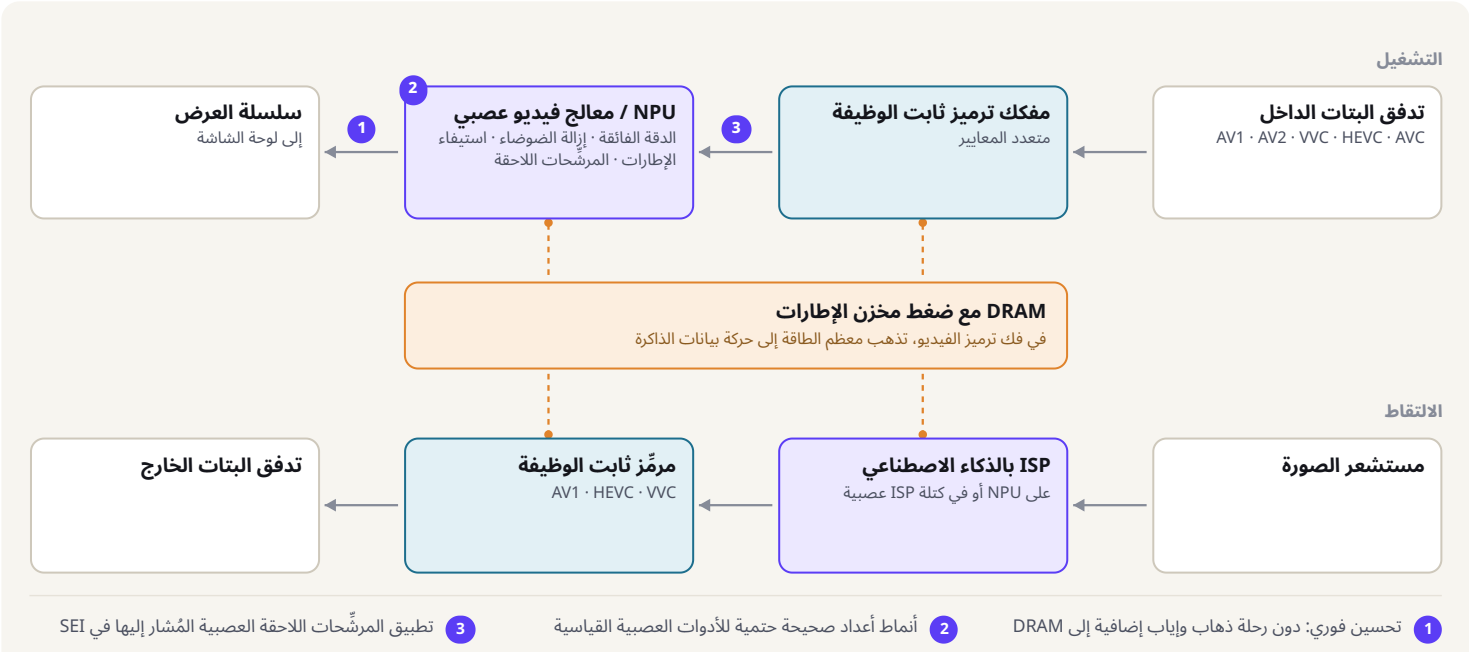
المساحة ليست العائق؛ بل التحقق وعمر الجهاز

تبدو 5 ملايين بوابة في NVCA مقابل نحو مليون لمفكك ترميز VVC متوقَّع رقماً كبيراً، لكن في SoC حديث لهاتف أو تلفاز يحمل أصلاً وحدة NPU بقدرة عدة TOPS، ليست بضعة ملايين من البوابات هي ما يحسم التصميم. ما يكلّف مالاً حقيقياً هو التحقق مقابل مجموعة اختبارات المطابقة، والحفاظ على صحة مفكك ترميز قابل للبرمجة عبر تحديثات البرمجيات طوال عمر الجهاز، والقدرة الكهربائية عند 4K60 HDR. ولا تصبح لهذه التكاليف جدوى إلا حين يحدد معيارٌ ما يجب بناؤه.

البنية الرابحة الآن: مرماز ثابت الوظيفة مع NPU

الشكل 08 **التقسيم الذي يُطرح: عتاد ثابت الوظيفة لتدفق البتات، ومحرك عصبي للبكسلات**

SoC للوسائط في 2026. كتلة المرماز تفك ترميز كل المعايير بجزء من النانوجول لكل بكسل؛ ووحدة NPU تتولى ما تجيده الشبكات ولا تقيّده المعايير. وحركة بيانات DRAM هي الكلفة المهمة.



المصدر: رؤية المؤلف للبنية، استناداً إلى إفصاحات المنتجات من Tencent (Canghai V2) وChips&Media وAllegro DVT وSamsung (2026).

الرقائق التي تُباع في 2026 تقرن مرمازاً ثابت الوظيفة متعدد المعايير بمحرك عصبي بجانبه. تتولى كتلة المرماز AV1 وAV2 وVVC وHEVC وAVC بجزء من النانوجول لكل بكسل. ويتولى المحرك العصبي ما تجيده الشبكات ولا تقيّده المعايير: إزالة الضوضاء والـISP عند الالتقاط، والدقة الفائقة واستيفاء الإطارات والتحسين عند العرض. ويتشارك الاثنان ضغط مخزن الإطارات وجدولة DRAM، لأن حركة بيانات الذاكرة هي الكلفة المهمة.

والسوق تُظهر هذا التقسيم. فدائرة ASIC لمرماز الفيديو (沧海) Canghai من Tencent، المطوَّرة داخلياً منذ 2019، لديها أكثر من 100,000 رقاقة من الجيل الأول في الخدمة عبر Tencent Cloud وخدماتها الخاصة للبث المباشر والفيديو حسب الطلب والألعاب السحابية؛ أما الجيل الثاني، الذي أُعلن في مايو 2026 أنه شُغّل للمرة الأولى ويدخل الإنتاج الكمي للخدمة في النصف الثاني من العام، فيدعم H.265 وH.266 في بنية واحدة بضغط أفضل من سابقه بأكثر من 10% و30%، ونحو ضعف الإنتاجية، وتحسين للصورة على الرقاقة مثل الدقة الفائقة. وتبيع Chips&Media نوى IP للمرامير ووحدة NPU موجهة للفيديو، WAVE-N، جنباً إلى جنب. وتبيع Allegro DVT مفككات ترميز AV2 وأضافت أول نواة IP لها لمعالجة الفيديو العصبية. وتقرن معالجات التلفاز من Samsung مفككات الترميز القياسية بمئات الشبكات لرفع الدقة.

ما كنت سأبنيه، بحسب الدور

فرق SoC ورقائق التلفاز. احتفظوا بمفككات ترميز ثابتة الوظيفة لكل معيار يلزمكم تشغيله، بما في ذلك AV2 الآن وVVC حيث يتطلبه البث. حدّدوا حجم NPU للمعالجة اللاحقة بدقة العرض ومعدل إطاراته، وصمّموا المسار من مفكك الترميز إلى NPU إلى العرض بحيث لا يضيف التحسين رحلة ذهاب وإياب عبر DRAM. ادعموا SEI للمرشِّح اللاحق العصبي. ووفّروا أنماط أعداد صحيحة حتمية في NPU. وتعاملوا مع H.267 على أنه بداية تصميم في 2029 أو بعدها، واحتفظوا ببعض قابلية البرمجة لأدواته العصبية.

موزّدو IP. بيعوا مفككات ترميز AV2 وVVC الآن، إضافة إلى القطع التي تحتاجها المعالجة العصبية حولها: مسرّعات المرشِّحات اللاحقة، وضغط مخزن الإطارات، وأدوات المطابقة.

منصات الفيديو. المعالجة المسبقة العصبية عند المرمِّز تسترد كلفتها أولاً، لأنها تعمل مرة واحدة لكل عمل ولا تحتاج شيئاً من الأجهزة. استخدموا الدقة الفائقة في جهة العميل حيث تسمح الأجهزة بذلك. واحصروا المرامير العصبية من طرف إلى طرف في الحلقات المغلقة التي تتحكمون فيها.

الـفصل 09

المعايير وبراءات الاختراع

09 المعايير وبراءات الاختراع: أين تصبح الأدوات العصبية قابلة للترخيص

المعايير قيد الإعداد

المعيار	الهيئة	المحتوى العصبي	الحالة، نوفمبر 2026
H.267 (اسم مؤقت؛ ما بعد VVC)	JVET (ITU-T وISO/IEC)	مفتوح. الأدوات التقليدية (ECM) والأدوات العصبية (المرشِّحات داخل الحلقة، والتنبؤ داخل الإطار، والدقة الفائقة) مرشَّحة كلتاهما	الدعوة لتقديم المقترحات في يوليو 2026؛ وتقييم الردود في يناير 2027؛ وأول نموذج اختبار في النصف الثاني من 2027؛ والإصدار 1 في نهاية 2029
VVC وHEVC، مع SEI	JVET	يمكن وصف مرشِّح لاحق عصبي في بيانات SEI الوصفية؛ وتطبيقه اختياري لمفكك الترميز	سارٍ؛ والرسائل موسَّعة في طبعات أكتوبر 2025
AV2	AOMedia	أدوات تقليدية، معفاة من الإتاوات	الإصدار 1.0.0 في 28 مايو 2026؛ وترخيص IP مفككات الترميز منذ يونيو 2026؛ وبث YouTube على الويب مخطط لأوائل 2027
JPEG AI	JPEG (ISO/IEC وITU-T)	مرماز صور متعلَّم من طرف إلى طرف، للرؤية البشرية والآلية	نُشر الجزء 1 في 2025؛ وإصدار ثانٍ قيد النقاش؛ ولم يُعثر على دعم افتراضي في المنتجات

المعيار	الهيئة	المحتوى العصبي	الحالة، نوفمبر 2026
IEEE 1857.11	IEEE	ترميز صور بالشبكات العصبية مصمم لوحدات NPU	نُشر في ديسمبر 2024
ترميز الفيديو للآلات	MPEG	ترميز لتحليل الآلات بدلاً من المشاهدة	مسودة معيار دولي في أوائل 2026؛ والصيغة النهائية مخططة لأواخر 2026
امتدادات التعلم الآلي في Opus	IETF	تكرار عميق اختياري، وتحسين في جانب فك الترميز، وتوسيع عرض النطاق	في libopus 1.5 و1.6؛ والتكرار العميق قيد التقييس

يبرز أمران. أولاً، يدخل المحتوى العصبي المعايير من الأطراف قبل النواة: مرشِّحاتٍ لاحقة اختيارية، وتحسيناً اختيارياً، وترميزاً للصور، وكلها تترك مسار فك الترميز الرئيسي دون تغيير. ثانياً، المعيار الوحيد الذي قد يضع الأدوات العصبية في مسار فك الترميز لكل شاشة، H.267، يفصله عن إصداره الأول ثلاث سنوات.

من يتموضع في البراءات

أدوات المعايير تصبح براءات قابلة للترخيص، ولذلك فإن عملية H.267 سباق براءات أيضاً، والأدوات العصبية جزء منه. يضع مسح GreyB لعام 2025، الذي شمل 3,916 براءة في أعمال ما بعد VVC، شركة ByteDance في المقدمة، مع 645 عائلة براءات و251 مساهمة في JVET، ويشير إلى شراكات بين الجامعات والصناعة مثل Xiaomi وجامعة Xidian بأكثر من 20 عائلة. وأفادت MLex في مارس 2026 بأن Tencent وAlibaba وByteDance تبرز بوصفها من المشاركين النشطين في مجمعات براءات مراميز الفيديو. وفي مايو 2026 اشترت Sauvegarder Investment Management من Alibaba ما عدده 126 أصلاً من براءات مراميز الفيديو تغطي AV1 وAV2 وترميز الفيديو للآلات. وأضاف شراء InterDigital لشركة Deep Render في أكتوبر 2025 براءات Deep Render في ترميز الفيديو بالذكاء الاصطناعي إلى محفظتها.

المال المحصَّل عن كل جهاز واضح في جداول تعرفات المجمعات. تعرفات Access Advance لمعيار VVC (السارية في 1 يوليو 2026، للمرخَّص لهم الملتزمين والمستخدمين لعلامتها التجارية) هي 0.50 دولار لكل هاتف محمول أو جهاز لوحي أو حاسوب محمول في أسواق المنطقة 1 مثل الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي واليابان، و0.25 دولار في المنطقة 2؛ ولأجهزة التلفاز 4K، من 1.00 إلى 1.50 دولار بحسب السعر في المنطقة 1؛ مع سقف سنوي للمؤسسة قدره 75 مليون دولار. وAV1 وAV2 معفيان من الإتاوات من جانب أعضاء AOMedia. وأياً كان ما سيتضمنه H.267، فستُسعَّر أدواته بالطريقة نفسها، ولهذا تساهم الشركات التي تملك براءات في الترميز العصبي في JVET الآن تحليل .

الـفصل 10

من يجني المال

10 من يجني المال، وأين يمكن لشركة أن تنافس

المال في 2026

الشكل 09 من يجني المال من الترميز العصبي في 2026

المال يتبع المعايير والمنصات. لم أجد شركة مستقلة تكسب رزقها من ترخيص مرماز فيديو عصبي من طرف إلى طرف.

تجني الآن

المنصات

تحتفظ بالوفورات

أداة خفض الدقة العصبية في Netflix؛ الدقة الفائقة لدى YouTube وMeta؛ أصدرت Microsoft مرماز MLVC مفتوح المصدر بترخيص MIT

تجني الآن

صانعو الأجهزة والرقائق

يبيعون التميّز

معالجات ISP في الكاميرات؛ معالجات رفع الدقة في التلفاز؛ رقائق الترميز Canghai التي طورتها Tencent داخلياً

تجني الآن

مورّدو IP

يرخّصون كل معيار جديد

عملاء لمفككات ترميز AV2 لدى Chips&Media وAllegro DVT وVeriSilicon في غضون ثلاثة أسابيع من المواصفة

تجني الآن

مورّدو GPU

يبنون الارتهان لمنصاتهم

DLSS 4 في أكثر من 250 لعبة وتطبيقاً؛ وحزمة SDK للخامات العصبية في مرحلة تجريبية

عن كل جهاز

حاملو البراءات ومجمعاتها

يحصّلون عن كل جهاز

VVC: 0.50 دولار لكل هاتف، و1.00–1.50 دولار لكل تلفاز 4K؛ وأدوات H.267 بعد 2029

خروج بالاستحواذ

الشركات الناشئة في المراميز العصبية

استُحوذ عليها

WaveOne → Apple (2023)؛ iSIZE → Sony (2023)؛ Deep Render → InterDigital (2025)

المصدر: إفصاحات الشركات ومجمعات براءات الاختراع المذكورة في التقرير؛ الحالة حتى 12 نوفمبر 2026. تعرفات المجمع: VVC Advance، المنطقة 1، للملتزمين مع استخدام العلامة التجارية، السارية في 1 يوليو 2026.

المنصات تحتفظ بالوفورات. تبني Netflix وYouTube وMeta وMicrosoft وTencent المعالجة العصبية داخلياً وتحتفظ بالفائدة في صورة عرض نطاق أقل وتخزين أقل وجودة أفضل لكل بت. وحين يساعد ذلك على الانتشار تتيح الشيفرة مجاناً: أصدرت Microsoft مرماز MLVC بترخيص MIT.

صانعو الأجهزة والرقائق يبيعون التميّز. معالجات ISP في الكاميرات ومعالجات الصورة في التلفاز هي حيث تلامس الشبكات العصبية كل مستخدم، وتُباع ميزاتٍ: Cognitive ISP من Qualcomm، ومعالجات رفع الدقة من Samsung.

مورّدو IP يبيعون مفككات الترميز لكل معيار جديد، إضافة إلى وحدات NPU. في غضون ثلاثة أسابيع من مواصفة AV2، أعلنت Chips&Media وAllegro DVT وVeriSilicon جميعها عن عملاء لمفككات ترميز AV2. والمورّدون أنفسهم يبيعون الآن كتل المعالجة العصبية إلى جانب المراميز.

مورّدو GPU يبنون المنصات. تجعل DLSS وضغط الخامات العصبي عتاد الموتّرات لدى NVIDIA جزءاً من طريقة صنع الألعاب.

حاملو البراءات يحصّلون عن كل جهاز، عبر مجمعات براءات VVC وHEVC، وبعد 2029 عبر مجمعات H.267.

الشركات الناشئة في المراميز العصبية استُحوذ عليها. ذهبت WaveOne إلى Apple في 2023، وiSIZE إلى Sony Interactive Entertainment في 2023، وDeep Render إلى InterDigital في 2025، وكلها بشروط غير معلنة. وفي كل حالة

اشترت منصةٌ أو جهة مرخِّصة الفريقَ والبراءات. ولم أجد في 2026 شركة مستقلة تكسب رزقها من ترخيص مرماز فيديو عصبي من طرف إلى طرف.

أين يمكن لشركة أن تنافس

الفرصة	من يشتري	لماذا الآن	الخطر الرئيسي
المعالجة المسبقة العصبية عند المرمِّز (خفض الدقة، وإزالة الضوضاء، والضبط لكل عمل)	منصات البث وفيديو المستخدمين، وهيئات البث	لا حاجة إلى تغيير في الأجهزة؛ مُثبتة لدى Netflix	المنصات الكبرى تبنيها بنفسها
IP للتحسين في جهة العرض وضبطه (الدقة الفائقة، واستيفاء الإطارات، وجودة الصورة)	صانعو رقائق التلفاز وأجهزة الاستقبال والهواتف	وحدات NPU موجودة أصلاً في الأجهزة؛ وتميّز مرئي	التسليع؛ وفرق صانعي الرقائق الداخلية
مرامیز عصبية في حلقات مغلقة (المؤتمرات، والتشغيل عن بُعد، والوصلات الخاصة)	مورّدو اتصالات المؤسسات والحلول الصناعية والحضور عن بُعد	MLVC يثبت الجدوى، وشيفرته مفتوحة	يجب أن تتحكم في الطرفين؛ وتشتت وحدات NPU
رقائق أو IP تجمع المرماز وNPU (AV2) وVVC والمعالجة اللاحقة)	صانعو SoC	دورة AV2 تبدأ	لاعبون راسخون أقوياء
أدوات التقييم والمطابقة والاستدلال الحتمي	كل من يطرح أدوات عصبية	التطابق على مستوى البت شرط صارم	سوق صغيرة ما لم تُجمّع مع غيرها
المساهمة في معيار H.267	الجهات المرخِّصة، والمنصات الكبرى	تقييم الردود في يناير 2027	طويل ومكلف وغير مضمون

بالنسبة إلى معظم الشركات، الصفان الأولان هما حيث تتوافر الإيرادات في 2027. والثالث هو الأكثر إثارة للاهتمام لشركة منتجات مركّزة. والأخير يحتاج إلى صبر واستراتيجية ترخيص.

الفصل 11

الادعاءات والأدلة

11 ادعاءات ستسمعها، وما تقوله الأدلة

الادعاء	ما تقوله الأدلة
«المرامیز العصبية تتفوق بالفعل على VVC.»	في المختبر، نعم. يوفر DCVC-RT نسبة 21% مقارنةً بمرمِّز VVC المرجعي عند 1080p في إعداد ورقته البحثية؛ ويوفر JPEG AI نسبة 12.5–27.9% مقارنةً بـVVC داخل الإطار. ويكلّف مفكك الترميز نحو 175 ألف عملية MAC لكل بكسل، أو طاقة وحدة NPU، مقابل جزء من النانوجول في العتاد ثابت الوظيفة.
«ستحل مرامیز الذكاء الاصطناعي محل H.26x وAV1 في غضون سنوات قليلة.»	ليس في التشغيل. أول معيار قادر على حمل الأدوات العصبية يستهدف نهاية 2029، وتتبعه الرقائق نحو 2031 والاستخدام الواسع في منتصف ثلاثينيات القرن تقدير . والمرماز الذي يصل الآن، AV2، تقليدي.
«MLVC يخفض عرض النطاق بنسبة 88%.»	مقارنةً بـH.264 عند 360p، على مجموعة اختبار Microsoft نفسها. ومقارنةً بـHEVC العتادي تبلغ النسبة 75.5% عند 360p و65.4% عند 540p، في مكالمات تتحكم Microsoft في طرفيها.
«الخامات العصبية تخفض ذاكرة الفيديو بنسبة 85–96%.»	في مشاهد العروض التوضيحية. أما اللعبة المطروحة فكسبت نحو 30% من الضغط الفعلي ولم تستخدم الخامات العصبية إلا في أصول مختارة بسبب كلفة وقت التشغيل.

الادعاء	ما تقوله الأدلة
«JPEG AI معيار ISO، لذا ستعتمده الكاميرات والمتصفحات.»	لم أجد دعماً افتراضياً له في المنتجات. والصيغة التي اعتمدها الويب في 2026، JPEG XL في Chrome 155، تقليدية.
«فك الترميز العصبي أغلى من أن تتحمله الهواتف.»	صحيح جزئياً. يفك MLVC ترميز 540p30 ضمن نصف وحدة NPU؛ أما 4K60 بنموذج من فئة DCVC-RT فسيحتاج إلى نحو 175 TOPS من الحوسبة المستدامة تقدير .
«وصلات الأقمار الصناعية والطائرات المسيّرة هي السوق الكبيرة للفيديو العصبي.»	الأنسب تقنياً، لكنها صغيرة وتخضع على نحو متزايد لضوابط التصدير على ضفتي المحيط الهادئ.
«ستشتري المنصات الكبرى ترخيص مرماز عصبي من شركة ناشئة.»	بنت مراميزها الخاصة (Netflix وMicrosoft وTencent) أو اشترت الشركة الناشئة (Apple وSony وInterDigital).

اختبار بسيط يكشف معظم العروض الترويجية: اسأل عن مرجع المقارنة، والمقياس، والدقة، وكلفة فك الترميز. والادعاء الذي لا يستطيع ذكر الأربعة كلها نتيجة بحثية، لا منتج.

الفصل 12

12

مؤشرات للمتابعة

ما يجب متابعته، من 2027 إلى 2030

متى	المؤشر	لماذا يهم
يناير 2027	يقيّم JVET ردود H.267 في بريزبن	كم من أفضل الردود يعتمد على أدوات عصبية، وبأي كلفة لكل بكسل
أوائل 2027	أول بث AV2 من YouTube على الويب؛ ومفككات ترميز AV2 في رقائق SoC معلنة	الدورة التقليدية التالية تحدد ميزانيات الأجهزة حتى نحو 2030
النصف الثاني من 2027	أول نموذج اختبار لمعيار H.267	هل الأدوات العصبية في التصميم الأساسي أم في الاستكشاف فقط
2027	MLVC خارج مكالمات Teams من نظير إلى نظير؛ ومورّدون آخرون يعتمدون الشيفرة المفتوحة	أول اختبار لمرماز عصبي مفتوح خارج مالكه
2028–2027	أول منتج يكتب JPEG AI أو يقرؤه افتراضياً	أول صيغة عصبية تُستخدم عبر حدود الشركات
2028–2027	DirectX Linear Algebra في برامج التشغيل المطروحة؛ والخامات العصبية في مزيد من الألعاب وعلى الأجهزة المحمولة	فك ترميز عصبي عابر للمورّدين داخل الرسوميات
مستمر	ميزانيات NPU في الهواتف والحواسيب	عند نحو 100 TOPS مستدامة، سيأخذ مفكك ترميز 1080p30 من فئة DCVC-RT نحو خُمس وحدة NPU بدلاً من نصفها تحليل
نهاية 2029	الإصدار 1 من H.267	بداية دورة الرقائق للأدوات العصبية في التشغيل واسع الانتشار

الـفصل 13

أسئلة مفتوحة

13 أسئلة مفتوحة

عدة أسئلة في هذا التقرير لا إجابة علنية عنها بعد، وهي الأكثر إثارة لاهتمامي تقنياً.

التطابق على نطاق واسع. إلى أي حد يمكن لمفكك ترميز عصبي أن يقترب من حساب بالأعداد الصحيحة وحدها متطابق على مستوى البت عبر وحدات NPU من مورّدين مختلفين قبل أن يتخلى عن معظم ميزته في الضغط؟ مقايضة النقاط الست في MLVC نقطة بيانات واحدة؛ والمعيار يحتاج إلى إجابة عامة.

الذاكرة قبل عمليات MAC. كم تكلّف المعالجة اللاحقة العصبية من حركة بيانات DRAM لكل بكسل حين تعمل فورياً بين مفكك ترميز عتادي والشاشة، وإلى أي حد يمكن تصغير مجموعة بيانات العمل الخاصة بها؟

ثمن الأداة العصبية في H.267. عند كم عملية MAC وكم نانوجول لكل بكسل يتوقف المرشِّح العصبي داخل الحلقة عن تبرير البتات التي يوفرها في مفكك ترميز 4K60؟

حلقات مغلقة غير المكالمات. أي أنظمة مغلقة أخرى، من تخزين الصور السحابي وبث الألعاب إلى الروبوتات ووصلات التغذية الخاصة، يمكنها اعتماد المراميز العصبية من طرف إلى طرف قبل وصول H.267؟

مفككات ترميز تولّد. حين يولّد مفكك الترميز التفاصيل بدلاً من إعادة بنائها، كما تفعل VAE الفيديو بالفعل، كيف ينبغي قياس الأمانة للأصل وتحديدها؟

هذه مجالات يمكننا استكشافها معاً في السنوات المقبلة، عبر التبادل التقني والتعاون التقني: i@tanshuai.com.

حدود هذا التقرير

هذا بحث مكتبي يستند إلى وثائق علنية حتى 12 نوفمبر 2026. لم أُجرِ مقابلات أولية ولا قياسات مستقلة لهذه النسخة. وعدة أرقام رئيسية هي ادعاءات للمورّدين أو المؤلفين على مجموعات اختبارهم الخاصة، مثل وفورات معدل البت في MLVC ونسب ضغط الخامات العصبي؛ وهي موسومة بذلك. وتقديراتي للحوسبة في DCVC-RT تجمع الأرقام لكل وحدة التي ينشرها مؤلفوه وتتجاهل خسائر معدل الاستخدام، ولذلك سيكون الحمل الفعلي على NPU أعلى. وتستند مقارنة الطاقة إلى بضعة تصاميم منشورة على عقد تصنيع مختلفة؛ وأرقام مفككات ترميز VVC وAV2 الإنتاجية مملوكة لأصحابها. والجداول الزمنية للمعايير هي أهداف اللجان نفسها. ومواعيد H.267 بعد 2029 تقديرات مني مستندة إلى تاريخَي AV1 وVVC.



عن المؤلف

عن المؤلف

تان شواي خبير تقني ومؤسِّس، له أكثر من عشرين عاماً من العمل في الرقائق والعتاد وبرمجيات الأنظمة، و20 براءة اختراع ممنوحة. لديه سنوات عديدة من البحث والتطوير والإدارة في تصميم الرقائق دون مصانع (fabless)، بما في ذلك تصميم مسارات البيانات في دوائر ASIC بأسلوب التصميم المخصّص بالكامل، ومشاريع رقائق كاميرات الوسائط المتعددة مثل مسرّعات مراميز الفيديو، وهذه هي العدسة التي ينظر بها هذا التقرير: الطاقة لكل بكسل، وحركة بيانات الذاكرة، وما يسمح المعيار لمفكك الترميز بتثبيته في السيليكون. وقد قاده عمله إلى وادي السيليكون ونيويورك وشيكاغو وتايوان ومنطقة الخليج الكبرى (شنتشن وهونغ كونغ) وفيتنام وماليزيا. ويعمل اليوم باحثاً ومطوِّراً في الذكاء الاصطناعي.

للنقاش التقني: i@tanshuai.com · tanshuai.com

ملاحظات وإخلاء مسؤولية

هذا التقرير بحث مكتبي مستقل يستند إلى وثائق علنية متاحة حتى 12 نوفمبر 2026. وهو مقدَّم لأغراض إعلامية فقط، ولا يشكّل نصيحة استثمارية أو قانونية أو هندسية. المنتجات والجداول الزمنية للمعايير وتعرفات مجمعات البراءات وقواعد التصدير تتغير؛ فتحقق من أي شيء تعتمد عليه في المصدر الأولي. والأرقام الموسومة ادعاء المورّد أو تقدير أو تحليل ينبغي أن تُقرأ على هذا الأساس. وأسماء الشركات والمنتجات ملك لأصحابها وتُستخدم للتعريف فقط؛ ولم تراجع أي شركة هذا التقرير ولم ترعَه.

© 2026 تان شواي. يجوز لك مشاركة هذا التقرير دون تعديل مع نسبته إلى صاحبه.



المصادر

المصادر

جرى الاطلاع عليها جميعاً بين 3 نوفمبر و12 نوفمبر 2026. وهي مجمّعة بحسب الفصل.

حركة البيانات والأجهزة والنطاق

- Ericsson، *Mobility Report*، يونيو 2026 (الفيديو نحو 75% من حركة البيانات المتنقلة في نهاية 2025): https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports/june-2026 ؛ ملخص: https://telecomlead.com/5g/ericsson-mobility-report-2026-global-mobile-data-traffic-to-reach-515-eb-by-2031-as-india-leads-smartphone-data-consumption-126290
- IDC، شحنات الهواتف الذكية عالمياً، الربع الرابع وعام 2025 كاملاً (1.26 مليار)، 13 يناير 2026: https://www.idc.com/resource-center/press-releases/q425mobilephone-top5/
- TrendForce، توقعات شحنات التلفاز لعام 2025 (195.71 مليون): https://iconnect007.com/article/146406/early-shipments-by-tv-brands-push-global-1h25-volume-up-2-but-raise-concerns-for-secondhalf-peak-season/146403/ ؛ Omdia، توقعات التلفاز لعام 2025 (208.7 مليون): https://iconnect007.com/article/145951/omdia-forecasts-flat-tv-shipments-in-2025-but-mini-led-poised-for-explosive-growth-at-829/14954/

التشغيل والبث

- Netflix Technology Blog، "AV1 — Now Powering 30% of Netflix Streaming"، ديسمبر 2025: https://netflixtechblog.com/av1-now-powering-30-of-netflix-streaming-02f592242d80
- Netflix Technology Blog، "For your eyes only: improving Netflix video quality with neural networks"، نوفمبر 2022: https://netflixtechblog.com/for-your-eyes-only-improving-netflix-video-quality-with-neural-networks-5b8d032da09c
- AOMedia، AV2 Bitstream and Decoding Process Specification v1.0.0، 28 مايو 2026: https://av2.aomedia.org/v1.0.0/index.html ؛ "AV2: What the Final Specification Means for Implementers": https://aomedia.org/blog%20posts/AV2-What-the-Final-Specification-Means-for-Implementers/
- TV Technology، "YouTube to Commence AV2 Streaming in 2027" (حصة AV1 من مكتبة YouTube): https://www.tvtechnology.com/platform/streaming/youtube-to-commence-av2-streaming-in-2027
- Google Research، "The in-loop filtering pipeline in AV2"، 2026: https://research.google/pubs/the-in-loop-filtering-pipeline-in-av2/
- Fraunhofer IIS، "The Future of Broadcast in Brazil" (التشغيل التجاري لنظام DTV+، يونيو 2026): https://mpegh.com/brazil/ ؛ CartaCapital عن أجهزة الاستقبال في أجهزة التلفاز: https://www.cartacapital.com.br/?p=628337 ؛ Olhar Digital عن VVC في TV 3.0: https://olhardigital.com.br/2026/05/01/pro/em-breve-a-tv-aberta-vai-mudar-no-brasil/
- 9to5Google، "YouTube adds AI-upscaled 'Super Resolution' for low-quality videos"، 29 أكتوبر 2025: https://9to5google.com/2025/10/29/youtube-adds-ai-upscaled-super-resolution-for-low-quality-videos/
- Meta، "How Meta Deployed Super Resolution at Scale to Transform Video Quality"، @Scale، 16 أكتوبر 2025: https://atscaleconference.com/how-meta-deployed-super-resolution-at-scale-to-transform-video-quality/
- Samsung، أبرز مزايا أجهزة تلفاز 8K شبكة عصبية): NQ8 AI Gen3، 768 https://www.samsung.com/us/tvs/8k-tv/highlights/

التصوير والصور

- Qualcomm، "Meet the Snapdragon 8 Gen 2 Super Cameras" (Cognitive ISP): https://www.qualcomm.com/news/onq/2023/07/meet-the-snapdragon-8-gen-2-super-cameras
- Visionary.ai وChips&Media، معالج ISP كامل قائم على الذكاء الاصطناعي، 5 يناير 2026: https://www.edge-ai-vision.com/2026/01/chipsmedia-and-visionary-ai-unveil-the-worlds-first-ai-based-full-image-signal-processor-redefining-the-future-of-image-quality/ ؛ مقابلة PetaPixel: https://petapixel.com/2026/01/1 8/a-look-at-the-worlds-first-full-ai-based-image-signal-processor
- لجنة JPEG، البيان الصحفي للاجتماع 103 (مكاسب JPEG AI، والتعقيد، والتنفيذ على الهواتف الذكية): https://jpeg.org/items/20240507_press.html
- G. J. Sullivan، مقدمة عن ISO/IEC JTC 1/SC 29، أبريل 2026 (حالة JPEG AI؛ وأرقام ECM وNNVC): https://www.mpeg.org/introduction-to-iso-iec-jtc-1-sc-29-coding-of-audio-picture-multimedia-and-hypermedia-information-the-world-of-jpeg-and-mpeg/
- مجموعة عمل IEEE 1857.11 (ترميز الصور القائم على الشبكات العصبية): https://sagroups.ieee.org/fvc
- Chrome 155 وJPEG XL، 6 أكتوبر 2026: https://xenospectrum.com/en/chrome-155-jpeg-xl-rust/

المكالمات والاجتماعات

- Microsoft، "Satin: Microsoft's latest AI-powered audio codec for real-time communications"، 17 فبراير 2021: https://techcommunity.microsoft.com/t5/microsoft-teams-blog/satin-microsoft-s-latest-ai-powered-audio-codec-for-real-time/ba-p/2141382
- Microsoft، "Announcing the Open-Source Release of ML Video Codec (MLVC)"، 24 يوليو 2026: https://techcommunity.microsoft.com/blog/linuxandopensourceblog/announcing-the-open-source-release-of-ml-video-codec-mlvc/4539875 ؛ الشيفرة: https://github.com/microsoft/mlvc
- Streaming Learning Center، "Microsoft MLVC: Interoperability, Power Realities, and the Neural Compression Patent Landscape": https://streaminglearningcenter.com/articles/microsoft_mlvc.html ؛ تحليل iReplay: https://ireplay.tv/blog/mlvc-microsoft-neural-video-codec-open-source-streaming/
- ملاحظات إصدار Opus 1.5: https://opus-codec.org/demo/opus-1.5 ؛ Opus 1.6: https://opus-codec.org/demo/opus-1.6

- Meta Engineering، "MLow: Meta's low bitrate audio codec"، 13 يونيو 2024: https://engineering.fb.com/2024/06/13/web/mlow-metas-low-bitrate-audio-codec/
- Microsoft، حواسيب Copilot+ PC (وحدة NPU بقدرة 40+ TOPS): https://www.microsoft.com/en-us/windows/copilot-plus-pcs ؛ Apple، إعلان M4 (محرك Neural Engine بقدرة 38 TOPS): https://www.apple.com/newsroom/2024/05/apple-introduces-m4-chip/

الذكاء الاصطناعي التوليدي

- Kyutai، بطاقة نموذج Mimi (12.5 Hz، 1.1 kbps): https://huggingface.co/kyutai/mimi
- Lightricks، "LTX-Video: Realtime Video Latent Diffusion" (VAE فيديو بنسبة 1:192): https://arxiv.org/abs/2501.00103
- البيان الصحفي لاجتماع MPEG رقم 153 (ترميز الفيديو للآلات في مرحلة DIS): https://www.mpeg.org/wp-content/uploads/2026/03/press_release_153.pdf

الألعاب والرسوميات

- NVIDIA، انتشار DLSS 4: الإطلاق وComputex 2025 (75 وأكثر من 125): https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/125-dlss-4-multi-frame-gen-games-more-announced-computex-2025/ ؛ Gamescom 2025 (أكثر من 175): https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/gamescom-2025-dlss-4-full-ray-tracing-game-announcements/ ؛ CES 2026 (أكثر من 250، DLSS 4.5): https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/dlss-4-rtx-path-tracing-game-announcements-c-es-2026
- Ubisoft La Forge، "Shipping Neural Texture Compression in Assassin's Creed Mirage"، فبراير 2026: https://www.ubisoft.com/en-us/studio/laforge/news/415slmB3ZGzv8d2LhO9QT/shipping-neural-texture-compression-in-assassins-creed-mirage
- TweakTown عن عرض NVIDIA للخامات العصبية في GTC 2026 (من 6.5 GB إلى 970 MB): https://www.tweaktown.com/news/110886/nvidias-neural-texture-compression-cuts-vram-usage-from-6-5gb-down-to-970mb/index.html
- مدونة Microsoft DirectX، الإصدار النهائي من Shader Model 6.9، فبراير 2026: https://devblogs.microsoft.com/directx/shader-model-6-9-retail-and-more/ ؛ عن المتجهات التعاونية: https://devblogs.microsoft.com/directx/shader-model-6-9-and-the-future-of-cooperative-vector/ ؛ خطط GDC 2026: https://windowsreport.com/microsoft-showcases-neural-rendering-and-dxr-2-0-plans-for-directx-at-gdc-2026/

الوصلات المتخصصة

- Global Trade Alert عن الإعلان الصيني رقم 49 لعام 2026: https://globaltradealert.org/intervention/161396-china-government-revises-export-controls-on-dr one-related-items ؛ DroneXL: https://dronexl.co/2026/10/19/china-drone-export-controls-motors-props-november-18/ ؛ Army Recognition (عتبات المنصات الأرضية غير المأهولة): https://www.armyrecognition.com/news/army-news/2026/china-tightens-drone-export-controls-raising-supply-chain-risks-for-the-us-europe-and-ukraine
- DroneLife، لجنة FCC تضيف الطائرات المسيّرة ومكوناتها الأجنبية الصنع إلى القائمة المشمولة، 22 ديسمبر 2025: https://dronelife.com/2025/12/22/fcc-adds-foreign-made-drones-and-components-to-covered-list-citing-national-security-risks/

الرقائق

- M. Tikekar et al.، "A 249-Mpixel/s HEVC Video-Decoder Chip for 4K Ultra-HD Applications"، IEEE JSSC 2014: https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/93876 ؛ صفحة رقاقة MIT (78 mW عند 4K30): https://eecsg.mit.edu/chips/hevc-video-decoder-for-4k-ultra-hd-applications/
- S. Zhang et al.، NVCA، DATE 2024: https://arxiv.org/abs/2312.10716
- Electronic Design، "Why Traditional VVC Will Outlive the Neural-Codec Hype on Silicon"، 2026: https://www.electronicdesign.com/home/article/55414955/why-traditional-vvc-will-outlive-the-neural-codec-hype-on-silicon
- Z. Jia et al.، "Towards Practical Real-Time Neural Video Compression" (DCVC-RT)، CVPR 2025: https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2025/html/Jia_Towards_Practical_Real-Time_Neural_Video_Compression_CVPR_2025_paper.html ؛ المواد التكميلية (التعقيد لكل وحدة): https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2025/supplemental/Jia_Towards_Practical_Real-Time_CVPR_2025_supplemental.pdf
- NNVC ومكتبة الاستدلال بالأعداد الصحيحة SADL: https://arxiv.org/abs/2309.05846
- Tencent Canghai V2، 27 مايو 2026 عبر Shanghai Securities News (10jqka): https://stock.10jqka.com.cn/20260527/c677016020.shtml ؛ ملخص المزايا: https://www.besthub.dev/articles/tencent-s-canghai-v2-chip-enters-mass-production-what-the-new-capabilities-mean-for-video-encoding-bcfc18dbfa29
- نواة IP لفك ترميز AV2 من Chips&Media، 12 مايو 2026: https://www.design-reuse.com/news/202530501-chips-media-completes-development-of-next-gen-av2-hw-decoder-ip/ ؛ ترخيص AV2، 17 يونيو 2026: https://www.edge-ai-vision.com/?p=58270
- Allegro DVT، نواة IP لفك ترميز AV2، 16 يونيو 2026: https://www.edge-ai-vision.com/2026/06/allegro-dvts-pulsar-decoder-ip-adds-support-for-av2-video-codec/
- VeriSilicon، VC9800D مع AV2، 10 يونيو 2026: https://www.businesswirechina.com/en/news/63176.html

المعايير وبراءات الاختراع

- البيان الصحفي لاجتماع MPEG رقم 155 (الدعوة المشتركة لتقديم المقترحات لما بعد VVC)، 5 أغسطس 2026: https://www.mpeg.org/wp-content/uploads/2026/08/ag3w254SN26474Press-Release-MPEG155.pdf
- البيان الصحفي لاجتماع MPEG رقم 152 (نتائج الدعوة لتقديم الأدلة؛ وطبعات VVC وVSEI)، 30 أكتوبر 2025: https://www.mpeg.org/wp-content/uploads/2025/11/Press-Release-MPEG152.pdf ؛ عمود MPEG في ACM SIGMM: https://records.sigmm.org/2025/12/09/mpeg-column-152nd-mpeg-meeting/
- Streaming Media، "AI Helps InterDigital Reach Beyond VVC in Race to Develop Next-Gen Codec": https://www.streamingmedia.com/Articles/News/Online-Video-News/AI-Helps-InterDigital-Reach-Beyond-VVC-in-Race-to-Develop-Next-Gen-Codec-171971.aspx
- GreyB، مسح براءات ما بعد VVC (H.267): https://greyb.com/blog/exclusive-video-codec-landscape/ ؛ عن ترخيص AV2 وبيع محفظة Alibaba: https://greyb.com/blog/av2-licensing/

- MLex، "Fragmented codec licensing exposes need for clearer rules for Chinese tech majors"، 27 مارس 2026: https://www.mlex.com/mlex/articles/2458402/fragmented-codec-licensing-exposes-need-for-clearer-rules-for-chinese-tech-majors
- Access Advance، تعرفات إتاوات MCBA وVVC Advance السارية في 1 يوليو 2026: https://accessadvance.com/wp-content/uploads/2025/07/MCBA-Program-Overview-September-2026.pdf

المال والشركات

- استحواذ InterDigital على Deep Render، 30 أكتوبر 2025: https://www.advanced-television.com/2025/10/30/interdigital-acquires-deep-render
- TechCrunch، "Apple acquired a startup using AI to compress videos"، 27 مارس 2023: https://techcrunch.com/2023/03/27/apple-acquired-a-startup-using-ai-to-compress-videos
- Neowin، "Sony acquires AI video startup iSIZE"، نوفمبر 2023: https://www.neowin.net/news/sony-acquires-ai-video-startup-isize-to-enhance-playstation-streaming/

الضغط المتعلّم · التشغيل × الرقائق

الترميز العصبي في 2026

يُطرح حول المرماز، لا بدلاً منه

كل رقم رئيسي في هذا التقرير مقرون بمصدره وتاريخه. وحين يستخلص المؤلف رقماً بنفسه يُوسَم بأنه تقدير، وحين لا يرد إلا عن الشركة البائعة يُوسَم بأنه ادعاء المورّد.

تان شواي

خبير تقني ومؤسِّس · باحث ومطوِّر في الذكاء الاصطناعي

tanshuai.com · i@tanshuai.com

النسخة العامة · البيانات حتى 12 نوفمبر 2026