



الثقافة المعلوماتية

مجلة دورية تصدرها الجمعية العالمية السورية للمعلوماتية

السنة الثالثة والعشرون - العدد الثامن والخمسون - أيلول "سبتمبر" / كانون الأول "ديسمبر" 2019

ملف العدد: توجهات وتحديات في تقنيات الذكاء الصناعي

رؤى ثقافات للذكاء الصناعي

جعل الرقاقات أكثر ذكاء

الأخطار المحتملة الحقيقية للذكاء الصناعي

الأبحاث الأخرى

التفكير الحسابي المتوازي

هل يتصرف ذلك البوت الاجتماعي تصرفاً غير أخلاقي؟

الديمقراطية الرقمية

التغيرات الموقّدة بالتقانة في منظومات العمل والتوظيف

كفاءة الطاقة: مصدر قلق جديد لمطوري برمجيات التطبيقات

قائمة المصطلحات للأعداد 54 حتى 58



البقاة للمعلوماتية

مجلة دورية تصدرها الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية

السنة الثالثة والعشرون - العدد الثامن والخمسون - أيلول "سبتمبر"/كانون الأول "ديسمبر" 2019

رئيس التحرير:

الدكتور موفق دعبول

هيئة التحرير:

الدكتور سعد الله آغا القلعة

الدكتور سامح جزماتي

الدكتور نزار الحافظ

الدكتور رakan رزوق

الدكتور حسان ريشة

الدكتور عماد الصابوني

الدكتورة ندى غنيم

الدكتور منصور فرح

الدكتور محمد مراياتي

أمانة التحرير:

هيفاء باكير

للمراسلات:

الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية
مجلة الثقافة المعلوماتية
دمشق - البرامكة - خلف كلية الفنون الجميلة
ص.ب. 33492 - سورية
هاتف: +963 11 215 0394

بريد إلكتروني: nzhafez@scs-net.org

تنسيق المقالات وإعداد المجلة للطباعة: **الدكتور نزار الحافظ**

عزيزي القارئ،

اخترنا لهذا العدد ثلاثة بحوث تحت العنوان **توجهات وتحديات في تقنيات الذكاء الصناعي**، هي: " **رُقاقات للذكاء الصناعي**"، " **جعل الرُقاقات أكثر نكاء**"، " **الأخطار المحتملة الحقيقية للذكاء الصناعي**".

يُستعرض **البحث الأول (رُقاقات للذكاء الصناعي)** مسعى شركات العتاديات لتضمين التعلم العميق في العتاديات الحاسوبية العالية الأداء، لا سيما المسرعات البيانية GPU و TPU، لتدعم تطبيقات الشبكات العصبونية أكثر، في الاستدلال والتدريب.

يتناول **البحث الثاني (جعل الرُقاقات أكثر نكاء)** مسألة تزويد الرُقاقات بتقانات الذكاء الصناعي والتعلم العميق والتعلم الآلي، وحالة تطوير وتجزير رُقاقات كهذه. ويناقش بنيانات الحاسوب الذي تدعم هذا التطور، وهي وحدات المعالجة GPUs و TPUs و FPGAs.

يعرّف **البحث الثالث (الأخطار المحتملة الحقيقية للذكاء الصناعي)** بالذكاء الصناعي، وبعض تقنياته كالبرمجة الكسبية والتعلم الآلي، ويناقش الأخطار الكامنة للذكاء الصناعي، ومنها: اختصار دور الإنسان، وعدم موثوقية منظومات الذكاء الصناعي.

واخترنا أيضًا لهذا العدد خمسة بحوث متنوعة المواضيع مثيرة للاهتمام هي على الترتيب: " **التفكير الحسابي المتوازي**"، " **هل يتصرف ذلك البوت الاجتماعي تصرفاً غير أخلاقي؟**"، " **الديمقراطية الرقمية**"، " **التغيرات المُؤدّة بالتقانة في منظومات العمل والتوظيف**"، " **كفاءة الطاقة: مصدر قلق جديد لمطوري برمجيات التطبيقات**".

يُدرس **أول هذه البحوث (التفكير الحسابي المتوازي)** حقائق عن الانتقال من البرمجة التسلسلية إلى البرمجة المتوازية داخل النظام التعليمي في وسط الانتشار الواسع للمعالجات المتعددة النوى، فيناقش الحاجة إلى ذلك، وفوائد التفكير المتوازي ومرونة الحلول التي يجنيها الطلاب، وفرص العمل لمكتسبي مهارات التفكير المتوازي. ويتناول أساليب تجديد المناهج الدراسية بإدخال التفكير المتوازي، والتحديات التي تواجه ذلك.

يُستعرض **ثانيها (هل يتصرف ذلك البوت الاجتماعي تصرفاً غير أخلاقي؟)** "بوتاً" يمثل برنامجاً حاسوبياً مصمماً للتسوق على الخط، ويُدرس سلوكه من حيث كونها "غير أخلاقية" أو "ليست غير أخلاقية"، ثم يناقش تجريم هذه "البوتات" الاجتماعية.

يعرّف **ثالثها (الديمقراطية الرقمية)** تغيرات تُحدثها التقانة الرقمية في الديمقراطية، أدخلت آليات حوكمة على الخط تدعم جهات فاعلة حكومية وغير حكومية، ووضعت قوانين جديدة لتفاعل المواطنين على الخط. ويبين أيضًا دور مختصي البرمجة والشبكات في التلاعب بخصوصية المواطن، أو في تقويض سيادة القانون، أو في الفساد الذي يمكن أن يدخلوه لتحقيق مكاسب لمصلحة جهات سياسية أو حكومية.

يستعرض رابعها (التغيّرات المُفوّدة بالتقانة في منظومات العمل والتوظيف) إدارة التغيير الممكن بالتقانة في بيئة العمل والوظيفة لمصلحة المؤسسات، والكيفية التي تغيّر بها التقانة العمل والمؤسسات. ويخص البحث دراسة أثر التطورات في تقانة المعلومات وتقانة الحاسوب إضافة إلى العوامل البشرية في إدارة التغيير هذا.

أخيراً، يكشف خامسها (كفاءة الطاقة: مصدر قلق جديد لمطوري برمجيات التطبيقات) دور التقنيات والأدوات والإجرائيات التي تقلل من استهلاك موارد الطاقة، ويدرس حلول هندسة البرمجيات المساعدة على كتابة تطبيقات برمجية مُجدية طاقياً، ويناقش مشكلات نقص المعرفة ونقص الأدوات في مجال كفاءة الطاقة..

يتضمن هذا العدد أيضاً قائمة بأهم المصطلحات (إنكليزي - عربي) الواردة في مقالات الأعداد من 54 حتى 58.

أخي القارئ،

في الختام، نتمنى أن تجد في مواضيع هذا العدد الفائدة المرجوة، ونأمل أن تتواصل معنا بإرسال ملاحظاتك ومقترحاتك إلينا ...

وإلى اللقاء معك في العدد القادم.

رئيس التحرير

الدكتور موفق دعبول

المحتويات

ملف العدد: توجهاتٌ وتحدياتٌ في تقنياتِ الذكاء الصناعي

- رُقاقات للذكاء الصناعي 9
- جعل الرقاقات أكثر ذكاء 15
- الأخطار المحتملة الحقيقية للذكاء الصناعي 21

الأبحاث الأخرى

- التفكير الحسابي المتوازي 31
- هل يتصرف ذلك البوت الاجتماعي تصرفاً غير أخلاقي؟ 37
- الديمقراطية الرقمية 45
- التغيُّراتُ المَقُودَةُ بالتقانة في منظومات العمل والتوظيف 49
- كفاءة الطاقة: مصدرٌ قلقٍ جديدٍ لمطوري برمجياتِ التطبيقات 63

قائمة المصطلحات للأعداد 54 حتى 58

رُقاقات للذكاء الصناعي

CHIPS FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE*

Don Monroe

ترجمة: د. خالد مصري

مراجعة: د. نزار الحافظ

تتسابق الشركات إلى تطوير عتاديات تعزّز التعلّم العميق بشكل أكثر مباشرةً.

يكشف سبرُ خبايا أي موقع رئيسي للبحث أو للتجارة أو للتواصل الاجتماعي اليوم، عن وفرة خوارزميات "التعلّم العميق". في العقد المنصرم، جرى تطبيق أدوات الذكاء الصناعي هذه بكثرة وبنجاح في تحليل الصوّر وتعرّف الكلام والترجمة وفي العديد من المهام الأخرى. بالفعل، تُشكّل المتطلبات الحسابية واستهلاك القدرة لهذه الخوارزميات حاليًا جزءًا كبيرًا ومتزايدًا من احتياجات مراكز المعطيات.

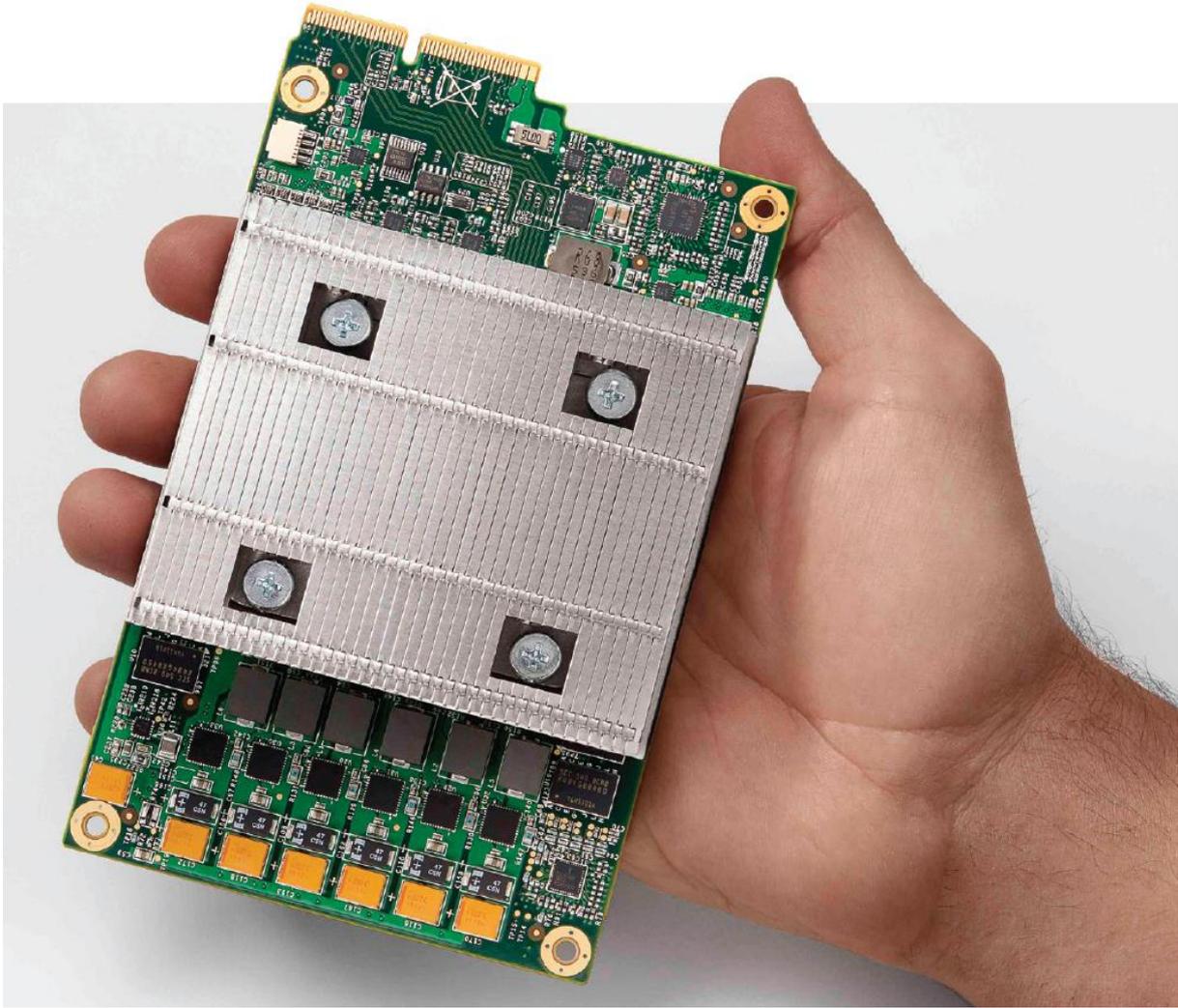
يُرخّل offload المُصمّمون غالبًا معظم الحسابات الشديدة التوازي إلى العتاديات التجارية، خصوصًا وحدات المعالجة البيانية (graphics-processing units (GPUs التي أنشئت في الأصل للتصيير rendering السريع للصوّر. هذه الرُقاقات ملائمةً تمامًا على وجه الخصوص لمرحلة "التدريب" training الكثيفة حسابيًا، التي تُؤلّف وسطاء النظام باستعمال العديد من الأمثلة التي جرى التحقق من صلاحيتها validated. تتطلب مرحلة "الاستدلال" inference، حيث يُنشر التعلّم العميق لمعالجة المدخلات الجديدة، نفاذًا أكثر إلى الذاكرة واستجابةً أسرع، غير أنه جرى تجييزها تاريخيًا بواسطة وحدات المعالجة البيانية GPUs أيضًا.

مع ذلك، وتجاوبًا مع الطلب المتنامي بازدياد، تتسابق الشركات إلى تطوير عتاديات تتيح التعلّم العميق مباشرةً أكثر، لمرحلة الاستدلال على وجه السرعة، ولكن للتدريب أيضًا. تركز معظم الجهود على "المُسرّعات" "accelerators" التي تؤدي، مثلها مثل GPUs، مهامها المتخصصة بها بسرعة تحت الإدارة الفضفاضة لمعالج متعدد الاستعمالات، مع أنه جرى أيضًا استكشاف نُظُم مُخصّصة بكمالها. معظم الشركات التي تواصلنا معها بخصوص هذا المقال لم تستجب، أو اعتذرت عن مناقشة خططها في هذا المجال التنافسي والسريع التطور.

الشبكات العصبونية العميقة

استُوحيت الشبكات العصبونية، وهي في الاستعمال منذ الثمانينيات، من نموذج مُبسّطٍ للدماغ البشري. ترقى تقنيات التعلّم العميق بالشبكات العصبونية إلى مستوياتٍ تعقيدٍ أعلى كثيرًا، ويعود نجاحها المتنامي إلى الازدياد الهائل للقدرة الحاسوبية، إضافةً إلى توفر قواعد معطياتٍ ضخمة من الأمثلة التي جرى التحقق من صلاحيتها اللازمة لتدريب النُظُم في مجالٍ معين.

* نُشر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 61، العدد 4، نيسان (أبريل) 2018، الصفحات 15 – 17.



صُمِّمت وحدة معالجة المُوتِّرات tensor العائدة لشركة غوغل للحصول على تدفقي عالٍ للحسابات المنخفضة الدقة.

إن "العصبونات" neurons في الشبكات العصبونية هي إجراءات حاسوبية بسيطة يمكن تنجيزها صراحةً في العتاديات، ولكنها تُحاكي رقمياً عادةً. يجمَع كل عصبون عشرات أو مئات المدخلات، من العالم الخارجي أو من نشاط العصبونات الأخرى، وتُسند أوزاناً أعلى لبعض المدخلات. يُحسب نشاطُ خرج العصبون اعتماداً على دالةٍ لاخطية لكيفية مقارنة هذه التجميعية المُثقلّة weighted بعتبةٍ مختارة.

تُرتَّب الشبكات العصبونية "العميقة" deep العصبونات في طبقاتٍ (يمكن أن تتلغ عشرات الطبقات) "تسنتج" تبعاً تمثيلاتٍ أكثر تجريدًا لمعطيات الدخل، مؤديةً في نهاية المطاف إلى نتيجتها؛ على سبيل المثال، نصّ مترجم أو كون صورةٍ مُعيّنة تتضمن شخصاً راجلاً.

يُحدِّد عددُ الطبقات، والترابطُ المحدد داخل الطبقات وبين الطبقات، والقيَم الدقيقة للأوزان وسلوكُ العتبة استجابة الشبكة بكمالها لمدخل ما. يلزم عشرات ملايين الأوزان لتحديد الترابطات الواسعة النطاق بين العصبونات. تتحدّد هذه الوسطاء أثناء إجرائية "تدريب" شاملة exhaustive حيث تُعطى شبكة نموذج عددًا هائلًا من الأمثلة خرجها "الصحيح" معلوم. عندما تُستعمل الشبكات في نهاية المطاف للاستدلال، فإنه يُحافظ، عمومًا، على قيم ثابتة للأوزان عند تعرّض النظام لمدخلات جديدة. يُجري كلٌّ من العصبونات العديدة في طبقة ما حسابًا مستقلًا (جاء كلٌّ من مدخلاته بالأوزان المقابل، وجمع ناتج الجداءات، وإجراء حسابٍ لاخطي لتحديد الخرج). يقول كريستوفر فليتشر Christopher Fletcher، وهو عالم حواسيب في جامعة إيلينوي Illinois في Urbana-Champaign، "يمكن ردُّ معظم هذا الحساب إلى جداء مصفوفات، وهذا يتيح إجراء العديد من الخطوات على التوازي، و"هذا يُشبه المسائل التي قمنا بحلّها بواسطة GPUs وبالحواسبة العالية الأداء مدةً طويلة جدًا".

تخصيص العتاديات customizing

أثناء الاستدلال، وبخلاف التدريب المفصول عن الشبكة offline، تكون الاستجابة السريعة هامةً، سواءً في السيارات الذاتية القيادة أو في تطبيقات الويب. يشير فليتشر إلى أن "التأبث latency هو الشيء الأهم لمزوّدي السحاب". في المقابل، يقول إن "GPUs التقليدية صُممت من الألف إلى الياء لأناس لا يعبأون بالتأبث، ولكن لديهم الكثير من العمل لدرجة أنهم ما داموا يحصلون على تدفقٍ كامل throughput، فإن كل شيء يصبح مقبولًا".

إدراكًا منها لأهمية زمن الاستجابة واستباقًا للطلبات المتزايدة للقدرة لتطبيقات الشبكات العصبونية، طوّرت سحابة غوغل العملاقة behemoth دائرة متكاملة لتطبيق محدد application-specific (ASIC) integrated circuit خاصةً بها تُسمى "tensor-processing unit" أو TPU، لأغراض الاستدلال. ودكرت غوغل في عام 2017 أن هذه الدارة تُنفذ الشبكات العصبونية الشائعة في مراكز معطياتها بسرعة أكبر بخمس عشرة مرة إلى ثلاثين مرة من CPU أو GPU المعاصرة، وأنها تستهلك قدرةً كهربائية أقل بثلاثين إلى ثمانين مرة لقيام بالأداء الحاسوبي نفسه (مقدّرًا بعملية في الثانية). لضمان تأبثٍ منخفض، جعل المصمّمون العتاديات انسيابيةً، وحذفوا السمات المشتركة التي تُبقي المعالجات الحديثة مشغولةً، وأيضًا تستهلك قدرةً أكبر. تستعمل الوحدة الهامة لحساب جداء المصفوفات تصميمًا "انقباضيًا" systolic، حيث تتدفق المعطيات بين العمليات دون إعادتها إلى الذاكرة.

حتى الآن، تبدو غوغل استثناءً بين عمالقة الويب بتصميمها الرُفَاقَات الخاصة بها، بدلًا من تكييف الأبدال التجارية المتاحة. على سبيل المثال، استعملت مايكروسوفت صغيفات بوابات قابلة للبرمجة في الحقل field-programmable gate arrays (FPGAs)، يمكن إعادة توصيلها rewired بعد نشرها لأداء وظائف دائرة مُخصّصة. وتعاونت فيس بوك Facebook مع شركة إنتل Intel لتقييم دائرة ASIC الخاصة بها، التي تُسمى مُعالج الشبكة العصبونية Neural Network Processor. هذه الرُفَاقَة، التي صُممت لتطبيقات الذكاء الصناعي قد بُدئ استعمالها في Nervana، وهي شركة ناشئة startup استحوذت عليها شركة إنتل في عام 2016. وكما هو متوقع، أصدرت شركة إنفيديا Nvidia (وهي أصلًا البائع المهيمن على سوق GPUs) سلفًا تصميماتٍ محدّثة تقول إنها ستدعم تطبيقات الشبكات العصبونية على نحوٍ أفضل، في الاستدلال والتدريب على حدٍ سواء.

تتبع هذه الرُقاقات استراتيجيةً مألوفةً مأخوذةً من التطبيقات المُتخصِّصة الأخرى، مثل تطبيقات الألعاب. تُتيح إزاحة الحسابات الثقيلة إلى رُقاقةٍ مُسرَّعةٍ مُتخصِّص (يشارك معالجًا عامًا وذاكرةً في مسرى bus) التنجيزَ السريع للأفكار الجديدة، ويفسح المجال أمام مصممي الرُقاقات للتركيز على دارات مُخصَّصة dedicated بافتراض أن كل المعطيات اللازمة في متناول اليد. يقول فليتش: مع ذلك، من الأرجح أن تقود أعباء الذاكرة التي يفرضها هذا المنهج "البسيط" إلى نُظمٍ أشدَّ تكاملًا، كوضع وظائف المُسرَّع على الرُقاقة مع المعالج. "أظن أننا سنرى العالم يسير في هذا الاتجاه لا محالة".

العتاديات العصبونية neuromorphic

تستعمل إحدى التقنيات التي تستثمرها الرُقاقات الجديدة معطياتٍ منخفضة الدقة، وغالبًا من نوع الفاصلة الثابتة بثماني بتات أو أقل، خصوصًا لأغراض الاستدلال. يقول فليتش "لا توجد قواعد ناظمة للدقة في أبحاث التعلُّم العميق حاليًا." "وأحد الأسئلة الرئيسية المفتوحة المتعلقة بعتاديات المُسرَّعات هو إلى أي مدى يمكن تخفيضها دون فقدان ضَبط التصنيف؟" classification accuracy.

تبين النتائج الصادرة عن غوغل وإنتل وآخرين أن مثل هذه الحسابات المنخفضة الدقة قد تكون قويَّة جدًا عندما تُحصَّر المعطيات على نحوٍ صحيح، وهذا أيضًا يفتح الفرص لإدخال إلكترونياتٍ جديدة. بالفعل، استوحيت الشبكات العصبونية من الأدمغة البيولوجية، ونجَّزها الباحثون في الثمانينيات بواسطة عتادياتٍ مُتخصَّصة تُحاكي سمات بنية الدماغ. حتى في العقد المنصرم، استمرت البرامج الضخمة المُمولة من الحكومات (في كلِّ من الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا) في استعمال الرُقاقات "العصبونية" neuromorphic التي تعمل على المبادئ المستوحاة من البيولوجيا لتحسين الأداء وزيادة كفاءة الطاقة. بعض هذه المشاريع، على سبيل المثال، وصلت عتاديًا hardware مباشرةً عدة مدخلات إلى عصبون إلكتروني مُفرد، في حين جعلت عصبونات أخرى تتواصل باستعمال نائبات spikes فُلطية لامتزامة قصيرة، مثلما تفعل العصبونات البيولوجية. مع ذلك، وبقطع النظر عن هذا السرد التاريخي، تستعمل رُقاقات الذكاء الصناعي الجديدة كلها الدارات الرقمية التقليدية.

على سبيل المثال، استكشفت شركة كوالكوم Qualcomm (التي تتبع العديد من رُقاقات الهواتف المحمولة) الشبكات النائتيَّة spiking ضمن البرنامج SyNAPSE الذي تمَّوله وكالة المشاريع البحثية الدفاعية المتقدمة الأمريكية Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) وهي والشركة الناشئة Brain Corporation (التي تمتلك كوالكوم فيها حصةً ماليةً). لكن جف جيلهار Jeff Gehlhaar نائب رئيس شركة كوالكوم للتقانة يقول بالبريد الإلكتروني إن هذه الشبكات "كان لها بعض المحدودية، وهذا ما منعنا من طرحها تجاريًا." في الوقت الحالي، تهدف منصة شركة كوالكوم للذكاء الصناعي إلى مساعدة المُصمِّمين على استكشاف الدارات الرقمية لهذه التطبيقات. مع ذلك، يلاحظ جيلهار أن آخرين يدرسون هذه النتائج لأن "هذا المجال يُعاد النظر فيه".

بالفعل، مع أن رُقاقة NNP (معالج الشبكة العصبونية Neural Network Processor) لا تستعمل هذه التقانة، فإن إنتل أعلنت أيضًا عن رُقاقة اختبار تُسمى Loihi تستعمل الدارات النائتيَّة. واستثمرت IBM أعمال SyNAPSE لتطوير تقانة رُقاقة عصبونية قوية أسمتها TrueNorth، واستعرضت قوتها في تعرُّف الصوِّر وفي مهامٍ أخرى.

يقول جيل برات Gill Pratt، وهو قيادي في برنامج SyNAPSE في DARPA وحاليًا في تويوتا Toyota، مع أنه لم تُعتمد الدارات العصبونية neuromorphic circuitry الحقة تجاريًا حتى الآن، فقد استُفيد من بعض الدروس من هذا

المشروع في التصاميم الحالية. وشَدَّد القول "إن وجود الطابع الرقمي التقليدي لا يعني عدم وجود الأفكار العصبونية." على وجه الخصوص، "يُحَقِّق الحساب المُخلَّل "sparse computation" كفاءةً طاقية أعلى بكثيرٍ بتركِ أجزاءٍ كبيرة من الشريحة غير مستعملة كفايةً *underused*.

يقول برات " أيُّما نظامٍ كفاءته الطاقية كبيرة سيكون مُخلَّلًا جدًّا"، وأفضل مثالٍ على ذلك القدرة الحسابية الهائلة التي تحقَّقها أدمغتنا بقدرة أقل من 20 واط.

ويشير برات إلى أنه مع أن القدرة الكهربائية هامة لمراكز المعطيات، وخصوصًا للتجهيزات المحمولة باليد، فإنه حتى السيارات يمكن أن تواجه تحديات خطيرة في القدرة الكهربائية. تتطلب سمات الأمان المتقدمة والقيادة الذاتية للنماذج الأولية آلاف الواط، ولكنها سوف تحتاج إلى قدرة أكبر بكثير من ذلك لكي تقترب من الإمكانيات البشرية، ويعتقد برات أن الأمر يحتاج إلى استثمار عددٍ أكبر من المبادئ العصبونية في العتاديات. يقول برات " أنا شديد التفاؤل بأن هذا سيحدث." إذ " لم يحدث هذا حتى الآن، لأن هناك مجموعة كبيرة من التحسينات في الأداء، سواء من حيث الكفاءة أو القدرة الحصانية للحساب الخام *raw compute horsepower*، التي يجب دمجها *mined* بالطرائق التقليدية، ولكننا في الطريق لتنفيذها."

المقالات ذات الصلة

- *Joupi, N.P, et al*, In-Datacenter Performance Analysis of a Tensor Processing Unit, 44th International Symposium on Computer Architecture (ISCA), Toronto, Canada, June 26, 2017, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1704/1704.04760.pdf>
- *Monroe, D.*, Neuromorphic Computing Gets Ready for the (Really) Big Time, *Communications*, April 2014, pp. 13-15, <https://cacm.acm.org/magazines/2014/6/175183-neuromorphiccomputing-gets-ready-for-the-really-bigtime/fulltext>.
- U.S. Defense Advanced Research Projects Agency DARPA SyNAPSE Program, <http://www.artificialbrains.com/darpa-synapse-program>

جَعْلُ الرُّقَاقَاتِ أَكْثَرَ ذَكَاءٍ

MAKING CHIPS SMARTER*

Samuel Greengard

ترجمة: م. سماح راغب

مراجعة: د. رضوان قسطنطين

تحتُ التطورات التي يشهدها كلُّ من الذكاء الصناعي والتعلم الآلي الباحثين على تصميم وبناء رقاقات جديدة لدعم نماذج الحوسبة المختلفة.

لا يخفى على أحد التطور الجوهري الذي طرأ على الذكاء الصناعي والتعلم الآلي machine learning خلال العقد الماضي، ومع هذا، تكمن المهمة المتزايدة الأهمية لهندسة النظم في مكان ما بين إيجاد أفضل الخوارزميات، وابتكار أسرع المعالجات، لبلوغ أعلى أداء وتحقيق نتائج أفضل.

يقول Nidhi Chappell، مدير التعلم الآلي في Datacenter Group في شركة Intel: "تكمن المشكلة في الوقت الراهن في أن خبراء الذكاء الصناعي يقضون وقتاً طويلاً جداً في المعالجة التمهيدية للرماز والمعطيات، وتكرار اختبار النماذج والوسطاء، وانتظار تقارب عملية التدريب، واختبار نماذج النشر. وتكون كل خطوة على طول الطريق إما مُجهدّة و/ أو كثيفة الحساب".

يضع مجتمع البحث والتطوير -الذي تتزعمه شركات مثل Nvidia و Microsoft و Baidu و Google و Facebook و Intel و Amazon- نُصب عينيه الآن هدفاً مباشراً يتمثل في مواجهة هذا التحدي. وتقوم الفرق باختبار وتطوير وتنفيذ تصاميم جديدة للرقاقة، وروابط ونظم جديدة، بهدف المضي قدماً بجرأة إلى مواطن لم يبلغها الذكاء الصناعي والتعلم العميق والتعلم الآلي من قبل. وقد يكون لهذه التطورات تأثير كبير - أو ربما تأثير ثوري- في طيفٍ من المجالات في السنوات القليلة القادمة، منها: القيادة المؤتمتة للمركبات، واكتشاف المخدرات، والطب الشخصي، والمساعدات الذكية، والربوطية، وتحليلات المعطيات الضخمة، وأمن الحاسوب، والكثير غيرها. وقد استطاعت الفرق تقديم معالجة أسرع وأفضل للمهام الهامة المتصلة بالكلام والرؤية والبحث السياقي.

يمكن للرقاقات المتخصصة أن تحسّن الأداء كثيراً من حيث مقادير الأعمال المنجزة في وظائف ثابتة، لأنها تشمل كل ما هو مطلوب على وجه التحديد للمهمة في قيد التنفيذ، ولا شيء أكثر من ذلك. ومع هذا، لا تخلو هذه المهمة من تحديات.

من أسباب ذلك عدم وجود فكرة واضحة حول كيفية استعمال السيليكون لتسريع الذكاء الصناعي، إذ إن معظم تصاميم الرقاقات ونُظُمها لا تزال في المراحل الأولى من البحث أو التطوير أو النشر.

* نُشر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 60، العدد 5، أيار (مايو) 2017، الصفحات 13 - 15.

ومن الأسباب الأخرى، عدم وجود تصميم أو نهج أو طريقة وحيدة تعمل جيداً في أي وضع أو إطار عمل قائم على الذكاء الصناعي.

الأمر الجلي تماماً: هو أن أطر عمل الذكاء الصناعي والتعلم الآلي تتطور سريعاً. هذا ما يقوله Eric Chung، الباحث في Microsoft Research، ويضيف قائلاً: "نحن نشهد طلباً متصاعداً وشرهاً على هذا النوع من التقانة".

ما وراء وحدة المعالجة البيانية GPU

إن السعي لبلوغ معالجة أسرع وأفضل في الذكاء الصناعي ليس بالأمر الجديد. فقد غدت وحدات المعالجة البيانية (GPUs: Graphical Processing Unit) في السنوات الأخيرة التقانة المفضلة لدعم الشبكات العصبونية التي تدعم الذكاء الصناعي والتعلم العميق والتعلم الآلي. والسبب في ذلك بسيط، حتى لو كانت التقانة الأساسية معقدة: إذ تُنفَّذ وحدات المعالجة البيانية، التي اخترعت في الأصل لتحسين معالجة البيانات على أجهزة الحاسوب، مهاماً محددة بصورة أسرع من وحدات المعالجة المركزية التقليدية (CPU). ومع ذلك، لا يكون التصميم المتخصص مثالياً لكل تطبيق أو حالة. على سبيل المثال، تختلف متطلبات محركات البحث مثل Bing أو Google جذرياً عن متطلبات معالجة الكلام المستعملة في الهاتف الذكي، أو المعالجة المرئية التي تجري في مركبة آلية، أو في السحابة. لا بُدَّ أن تدعم النظم تدريب المعلومات، وتقديم المعلومات وأوامر التحكم في الزمن الحقيقي بدرجات متفاوتة.

أثناء سعيهم لتعزيز أداء هذه النظم؛ لا يترك المصممون والمهندسون أي فكرة دون تفحص. ومهما يكن، فإن جميع البحوث تدور حول هدف أساسي يوضحه Chappell في قوله: "ستقدم رقاقات الذكاء الصناعي المتخصصة أداءً أفضل من وحدات المعالجة المركزية ووحدات المعالجة البيانية على حد سواء. ومما لا شك فيه أن هذا سيدفع (إطار عمل) حوسبة الذكاء الصناعي قُدماً". ومن شأن الرقاقات المتخصصة هذه، على أرض الواقع، أن تقلل من متطلبات التدريب في الشبكات العصبونية إلى حد بعيد، فقد ينخفض زمن التدريب في بعض الحالات إلى ساعات أو دقائق بدلاً من أيام أو أسابيع. ومن المحتمل ألا يتوقف تأثير هذا الأمر عند تحسين الأداء، بل يتجاوز أيضاً إلى خفض التكاليف المترتبة على الشركات التي تطور نظم الذكاء الصناعي والتعلم العميق والتعلم الآلي. ستكون النتيجة التعرف البصري بصورة أسرع وأفضل في المركبات الآلية، أو القدرة على إعادة معالجة ملايين عمليات المسح بحثاً عن علامات مفقودة محتملة في ميداني الرعاية الصحية أو الأدوية.

يُهدي التركيز على الرقاقات المتخصصة والحسابات الأفضل للذكاء الصناعي الباحثين إلى عدة سُبل، تشمل التحسينات المدخلة على وحدات المعالجة البيانية، فضلاً على العمل على تقانات أخرى مثل صفيقات البوابات القابلة للبرمجة حقلياً (FPGAs: field programmable gate arrays)، ووحدات معالجة الموتر (TPUs: Tensor Processing Units)، وغيرها من نظم الرقاقات وهيكلياتها التي تتوافق مع متطلبات محددة للذكاء الصناعي والتعلم الآلي. يقول Bryan Catanzaro، نائب رئيس البحوث التطبيقية للتعلم العميق في Nvidia: "تصبُّ هذه المبادرات في الاتجاه العام نفسه، إذ يتمثل الهدف في بناء منصات حسابية توفر الكفاءة في الأداء والطاقة اللازمة لبناء الذكاء الصناعي بمستوى من الدقة يفوق ما هو متاح اليوم".

على سبيل المثال، توفر وحدات المعالجة البيانية حالياً عرض حزمة من المعالج إلى الذاكرة أكبر من السابق، ويمكن تطبيقها في العديد من المهام ومقادير الأعمال الممكنة الإنجاز في ميدان الذكاء الصناعي، ويشمل ذلك المعالجة المرئية والكلامية. يدور عامل الجذب في وحدات المعالجة البيانية حول توفير قدر أكبر من عمليات الفاصلة العائمة في الثانية

الواحدة (FLOPs: floating-point operations per second) باستهلاك قدرٍ أقل من الطاقة الكهربائية، والقدرة على توسيع الاستهلاك المنخفض للطاقة من خلال دعم أعداد ممثلة بالفاصلة العائمة على 16 بتاً، وهي أعداد تتسم بكونها أشد فعالية فيما يخص الاستطاعة والطاقة من الأعداد الأحادية الدقة (32 بتاً) أو المضاعفة الدقة (64 بتاً) الممثلة بالفاصلة العائمة. زيادةً على ذلك، فإن وحدات المعالجة البيانية قابلة للتصعّد (التوسع) إلى حد بعيد، إذ توفر رقاقة Nvidia Tesla P100، التي تضم 15 مليار ترانزستور في رقاقة سيليكون، إنتاجية عالية جداً في أعمال الذكاء الصناعي المرتبطة بالتعلم العميق deep learning.

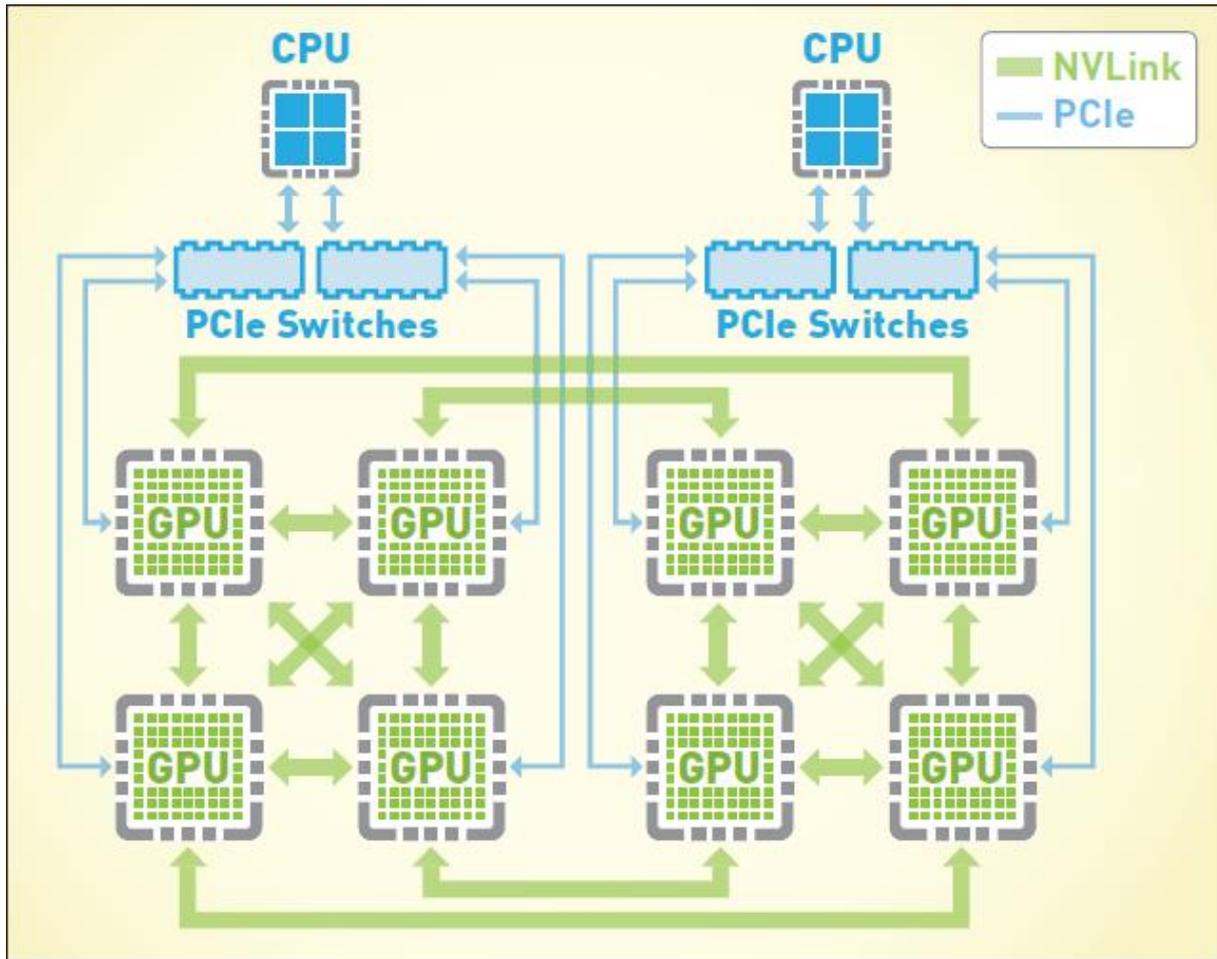
ومع ذلك، ونظراً إلى أن قانون مور Moore's Law وصل إلى الحدود الفيزيائية، يجب أن تتطور التقانة أكثر. يقول Catanzaro: "ثمة العديد من الطرق المتاحة في الوقت الراهن لتخصيص بنين المعالج بما يتناسب مع التعلم العميق". ومن هذه الطرق: تحسين كفاءة تنفيذ الأعمال الخاصة بالتعلم العميق، وإجراء مكاملة أفضل بين وحدة المعالجة البيانية الموجهة نحو معدل التدفق throughput-oriented؛ ووحدة المعالجة المركزية الموجهة نحو التلثبات latency-oriented. على سبيل المثال، قدمت Nvidia مخدماً متخصصاً أسمته DGX-1، يستعمل ثمانية معالجات من طراز Tesla P100 لتقديم 170 تيرا عملية حسابية بالفاصلة العائمة في الثانية بهدف تدريب الشبكات العصبونية. ويستعمل النظام أيضاً رابطاً سريعاً بين وحدات المعالجة البيانية يسمى NVLink، تدّعي الشركة بأنه يتيح مشاركة أسرع للمعطيات من روابط PCIe التقليدية بمقدار يصل إلى 12 ضعفاً.

وكما يقول Catanzaro: "لا تزال الفرصة سانحة لظهور ابتكار عظيم في هذا المجال".

نماذج جديدة تظهر للعيان

تبيّن النهج الأخرى أيضاً بمكاسب كبيرة. نذكر على سبيل المثال، وحدة معالجة Tensor من غوغل (TPU: Tensor Processing Unit)، وهي دارة متكاملة لتطبيق محدد (ASIC: application-specific integrated circuit) مصممة لتطبيقات الذكاء الصناعي خاصة، مثل معالجة الكلام، وتحديد طريقة عرض خرائط الشوارع والتجول فيها. وقد استعملت وحدة المعالجة هذه في مراكز معطيات Google لأكثر من 18 شهراً. ثمة فائدة كبيرة تتمثل في استمثال تصميم هذه الرقاقة للعمليات الحسابية المنخفضة الدقة. وهذا يعني عدداً أقل من الترانزستورات المخصصة للعملية الواحدة، وإمكان زيادة العمليات المنفّذة في الثانية الواحدة ضمن الشريحة، وهو الأمر الذي يؤدي إلى تحسين الأداء لكل واط (من حيث استهلاك الطاقة)، وإلى إمكان استعمال نماذج أكثر تطوراً وقوة في التعلم الآلي - مع تطبيق النتائج بسرعة أكبر.

ومن التقانات الأخرى التي تهدف إلى تعزيز الذكاء الصناعي والتعلم الآلي مشروع Catapult من Microsoft الذي يستعمل صفيقات البوابات القابلة للبرمجة حقلياً (FPGAs) والتي تدعم محرك البحث Bing المستعمل على نطاق واسع، إضافة إلى سحابة Azure. يسمح هذا للفرق بتطبيق الخوارزميات مباشرة على العتاديات، بدلاً من البرامج التي يُحتمل أن تكون أضعف كفايةً. يقول Chung إن أداء FPGAs يفوق أداء وحدات المعالجة المركزية، مع حفاظها على المرونة، وسماعها لنظم الإنتاج بالعمل على نطاق واسع. يصف Chung تلك التقانة بأنها "سيليكون قابل للبرمجة".



تصميم شبك المكعب الهجين من NVIDIA المربوط داخلياً بواسطة NVLink الذي يربط بين ثماني GPUs، في كل منها 15 مليار ترانزستور.

من المؤكد أن FPGAs المقتصدة في الطاقة تحقق مطلباً مهماً عند نشر المسرعات على نطاق واسع في مراكز المعطيات المقيدة من حيث استهلاك الطاقة. يفسر Chung الأمر قائلاً: "يوفر النظام مجموعة موحدة وقابلة للتصعد (scalable) من الموارد المستقلة عن وحدات المعالجة المركزية. على سبيل المثال، تسمح لنا السحابة الخاصة بنا بتخصيص عدد قليل أو كثير من دارات FPGAs كخدمة عتادية واحدة"، وهو الأمر الذي يتيح لشركة Microsoft في آخر المطاف توسيع حجم النماذج بسلاسة ليصل إلى عدد كبير من العقد. وتكون النتيجة الحصول على إنتاجية عالية جداً بالتزامن مع تلبُّث (latency) قصير جداً".

رقاقات FPGAs هي في الواقع رقاقات عالية المرونة تحقق أداءً أعلى وكفاءة أفضل في الطاقة مع دقة عددية مُخفضة. يفسر Chung هذا بقوله: "تغدو كل عملية حسابية أشد فعالية ضمن دارة FPGA باستعمال عدد أقل من البتات". وسيطور الجيل الحالي من رقاقات Intel هذه المعروفة باسم Stratix V FPGAs إلى المزيد من الإصدارات المتقدمة، ويشمل ذلك Arria 10 و Stratix 10. وستُقدم هذه الرقاقات سرعة وكفاءات أعلى.

ويقول Chung: "يمكننا بوجود التقانة بناء قنوات pipelines مفصّلة لخوارزمياتٍ ونماذج محددة". لقد وصلت Microsoft في الواقع إلى نقطةٍ غدا فيها المطورون قادرين على نشر النماذج بسرعة، دون امتلاكهم للخبرة التقنية الأساسية فيما يخص إطار التعلم الآلي. ويرى Chung أن: "الأمر المنشود هو الوصول إلى مستوى عالٍ من المرونة. يمكن إعادة برمجة FPGAs بما يتناسب مع نماذج ومهام الذكاء الصناعي المختلفة". في حقيقة الأمر، يمكن إعادة برمجة FPGAs سريعاً كي تستجيب للتطورات الحاصلة في الذكاء الصناعي أو متطلبات مركز المعطيات المختلفة. فالعملية التي كانت تستغرق فيما سبق عامين أو أكثر، يمكن أن تجري الآن في غضون دقائق.

وأخيراً، تقدم Intel تقانة Nervana التي تهدف بحسب Chappell إلى: "توفير كثافة حسابية غير مسبوق، وارتباطٍ ذي عرض حزمة عالٍ من أجل نموذج تفرعي لا عيب فيه". ستركز التقانة في المقام الأول على المضاعفات والذاكرة المحلية، وتتخطى عناصر مثل ذواكر التخزين المخبأة المطلوبة لمعالجة البيانات، ولكن ليس للتعلم العميق. وتُبرز أيضاً سُبلاً معزولة للحساب وإدارة المعطيات، إضافة إلى ذاكرة ذات عرض حزمة عالٍ (HBM: High Bandwidth Memory) لتسريع نقل المعطيات. ويضيف Chappell أن Nervana، التي تتوقع Intel طرحها خلال النصف الأول من هذا العام، ستقدم أداءً مستداماً يقارب الحد الأقصى للإنتاجية النظرية. كما أنها ستتضمن أيضاً 12 ارتباطاً ثنائي الاتجاه وبعرض حزمة عالٍ، وهذا ما يسمح باستعمال محركات متعددة مترابطة للوصول إلى التصعّدية (scalability) السليمة، وهو مطلب أساسي لتحسين الأداء على هذا الصعيد.

الحالة المستقبلية

يتمثل أحد الجوانب المثيرة للاهتمام في تصاميم الرقاقات chip الناشئة الموجهة للذكاء الصناعي والتعلم العميق والتعلم الآلي، في حقيقة أن تصاميم الرقاقات المنخفضة الدقة تسود باطراد. وتتوافق المعالجات المنخفضة الدقة، في كثير من الحالات، توافقاً أفضل مع منصات الحوسبة ذات البنية العصبونية، وتُسرع نشر خوارزميات التعلم العميق وربما تدريبها. أي يمكنها ببساطة أن تعطي نتائج مماثلة باستهلاكٍ أقل للطاقة، قد يصل في بعض الحالات إلى 100 مرة. ومع أن الخوارزميات التي تعمل على المعالجات الرقمية الحالية تتطلب دقة رقمية عالية، فإن هذه الخوارزميات نفسها تتفوق عندما تعمل على رقاقات منخفضة الدقة في الشبكات العصبونية، لأن هذه النظم تتكيف آلياً عن طريق فحص المعطيات بطريقة أكثر علائقية وسياقية (وهي أقل حساسية لأخطاء التقريب).

وهذا ما يجعل هذه التقانة مثالية لمجموعة من مهام التعلم الآلي وتقاناته، ويشمل ذلك الطائرات بدون طيار، والمركبات المؤتمتة، والمساعدات الشخصية الذكية مثل Alexa من Amazon أو Cortana من Microsoft أو Siri من Apple، ونظم تعرّف الصور، ومحركات البحث، ويشمل ذلك الخدمات العامة مثل Bing وGoogle ولكن أيضاً تلك التي يستعملها تجار التجزئة ووكالات السفر عن طريق الإنترنت وغيرها. كما أنها تدعم الوظائف المتقدمة مثل تحويل الكلام إلى نص في الزمن الحقيقي، والترجمات اللغوية.

يقول Gregory Diamos، الباحث البارز في Baidu: "في آخر المطاف، لدى الرقاقات المتخصصة بالتعلم الآلي القدرة على تغيير الرهانات والدخول في عهد يشهد فتوحاتٍ أكبر. لقد حقق التعلم الآلي بالفعل تقدماً هائلاً". ويضيف: "سوف تستمر الرقاقات والنظم المتخصصة في سد الفجوة بين أداء الحواسيب والأداء البشري".

قراءة متعمقة

- Caulfield, A., Chung, E., Putnam, A., Angepat, H., Fowers, J., Haselman, M., Heil, S., Humphrey, M., Kaur, P., Kim, J.Y., Lo, D., Massengill, T., Ovtcharov, K., Papamichael, M., Woods, L., Lanka, S., Chiou, D., and Burger, D., A Cloud-Scale Acceleration Architecture, October 15, 2016. *Proceedings of the 49th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture*, IEEE Computer Society. <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/configurable-cloud-acceleration/>
- Samel, B., Mahajan, S., and Ingole, A.M. GPU Computing and Its Applications, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Volume: 03 Issue: 04, Apr-2016. <https://www.irjet.net/archives/V3/i4/IRJETV3I4357.pdf>
- Shafiee, A., Nag, A., Muralimanohar, N., Balasubramonian, R., Strachan, J.P., Hu, M., Williams, S.R., and Srikumar, V., ISAAC: A Convolutional Neural Network Accelerator with In-Situ Analog Arithmetic in Crossbars, *2016 ACM/IEEE 43rd Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA)*, pp. 14-26, 2016, ISSN 1063-6897. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7446049/citations>
- Shirahata, K., Tomita, Y., and Ike, A. Memory reduction method for deep neural network training, *2016 IEEE 26th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP)*, 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/MLSP.2016.7738869., <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7738869&isnumber=7738802>

الأخطار المحتملة الحقيقية للذكاء الصناعي

THE REAL RISKS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE*

David Lorge Parnas

ترجمة: د. أحمد حصري

مراجعة: د. خالد المصري

تضيء الأحداث التي جرت في الأيام الأولى لبحوث الذكاء الصناعي الطريق لنا
في بيئة الذكاء الصناعي الحالية.

إن الزيادة الهائلة في سرعة الحواسيب وسعة ذاكرتها وفي إمكانات الاتصالات، تُمكن الحواسيب الحالية من القيام بأعمال لم تخطر لي على بال عندما بدأت مسيرة البرمجة قبل ستة عقود خلت. كانت الحواسيب عندها تستعمل في المقام الأول لإجراء الحسابات العددية، أما الآن فهي تعالج النصوص والصور والتسجيلات الصوتية. ثم عُدت كتابه برنامج يلعب الشطرنج ولو على نحو سيئ ولكن بصورة صحيحة إنجازاً. أما اليوم فقد غدا لدى الحواسيب القدرة على تحدي أمهر لاعبي الشطرنج.

أتاحت سعة النظم الحاسوبية الحالية الهائلة لبعض الموردين أن يصفوها بأنها تتمتع "بذكاء صناعي" artificial intelligence (AI). فهم يدعون أن الذكاء الصناعي يستعمل في الغسالات، ولتسهيل مهمة (المساعدات الشخصية) في أجهزتنا الجوّالة، وفي القيادة الذاتية للسيارات، كما تستعمل في الحواسيب العملاقة التي تهزم الأبطال في الألعاب المعقدة. ومن اللافت للنظر، أن مستعملي مصطلح الذكاء الصناعي لم يعرفوه ولم يحددوا مضمونه. ولقد سمعت هذا المصطلح منذ أكثر من خمسين عاماً ولم أسمع حتى الآن تعريفاً علمياً له. بل إن خبراء الذكاء الصناعي اليوم يقولون بأن تعريفه صعب ومهم وهم يعملون على ذلك. هذه العبارة الطنانة يظن معظم الناس أنهم يفهمونها مع أنه لا أحد بإمكانه تعريفها. لقد برز حديثاً تحذير متنامٍ من الأخطار الكامنة للذكاء الصناعي، فإن عمالقة عالم التجارة والعلم المشهورين أعربوا عن قلقهم من أن الذكاء الصناعي سيجعل دور الإنسان في نهاية المطاف فائضاً عن الحاجة وغير ضروري. بل إن الخبراء في هذا المجال يتنبؤون بأنه سيحل محل المختصين كالمحامين. وأعلن أحد باحثي مايكروسوفت بالخط العريض ترويسة تقول (إن الناس يريدون أن يتأكد لهم أن تنامي مقدرة الذكاء الصناعي تمكّن الأنظمة الفاشستية (authoritarian regimes) من مركزة السلطة استهداف مجتمعات بعينها^(a)).

* نُشر هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 60، العدد 10، تشرين الأول (أكتوبر) 2017، الصفحات 27 – 31.

^(a) ورد هذا في مقابلة مع Kate Crawford في صحيفة *Guardian* بتاريخ 13 آذار 2017.

لقد حوّلت الأتمتة مجتمعنا تحويلاً جذرياً، وستستمر تفعل ذلك، إلا أن قلقي من (الذكاء الصناعي) ينبع من أمور مغايرة. إذ إن تطبيق طرائق الذكاء الصناعي قد تؤدي إلى منظومات وإلى تجهيزات غير موثوق بها بل إنها قد تكون أحياناً خطيرة.

مدخل مبكر إلى الذكاء الصناعي

عندما كنت طالباً في جامعة كارنيجي ميلون (CMU)^(b) تعرّفت على (الذكاء الصناعي) عن طريق بعض مؤسسي هذا الحقل المعرفي. كان معلوماً أنذكاء حذرين وكانت منهجيتهم تجاه البرمجة (جربوها وصحّوها). لقد نأيتُ عن الطريق المنهجي لحل المسائل الذي تعلمته عندما كنت طالباً أدرس الفيزياء والهندسة الكهربائية والرياضيات. فالمقررات العلمية والهندسية تُشدد على تعاريف صارمة ولا تعتمد على القياس، في حين كانت محاضرات الذكاء الصناعي تستعمل مفاهيم غامضة وغير واضحة وغير قابلة للقياس. لقد أرشدني أساتذتي في الهندسة كيف نستعمل الفيزياء والرياضيات لتحليل المسائل تحليلاً دقيقاً، في حين اعتمد مدرسو الذكاء الصناعي على الحدس والبديهة بالكلية تقريباً.

إنني أميز ثلاثة أنواع من البحوث في مجال الذكاء الصناعي وهي:

- إعداد برامج لمحاكاة سلوك الإنسان وتصرفاته بهدف معرفة طرائق تفكيره.
 - إعداد برامج ألعاب تتصف بالمهارة.
 - البرهان على أن لدى المنتجات المحوسبة العملية إمكان استعمال الطرائق التي يستعملها الإنسان.
- تساعد النماذج المحوسبة الباحثين على فهم عمل الدماغ. ومع هذا كما وصّح جوزيف وايزنبوم⁽²⁾ (Joseph Weisenbaum)، يمكن لنموذج أن يكرّر سلوك (الصندوق الأسود) لآلية ما دون وصف هذه الآلية.
- إن كتابة برامج للألعاب أمر ليس فيه ضرر ويساعد على بناء الإمكانيات. ولكن ما يقلقني مقولة أنه يجب على العملية أن تُطبق الطرائق البشرية. فتقليد البشر قلما كان الطريق الأمثل كي يقوم حاسوب بمهمة ما. وقد تقود المحاكاة هذه إلى برامج غير موثوقة وخطرة.
- ولتوضيح تحفظاتي حول الذكاء الصناعي سأناقش في هذا المقال حوادث وقصصاً تعود إلى بحوث الذكاء الصناعي في بدايته. وعلى الرغم من قدم هذه القصص فإن الدروس التي نتعلمها منها تبقى قائمة إلى يومنا هذا.

البرمجة الكسبية

يصف الباحثون في الذكاء الصناعي أحياناً مقاربتهم بأنها تعتمد "البرمجة الكسبية" heuristic programming. وتعرّف أطروحة أعدت لنيل شهادة الدكتوراه من (CMU) البرنامج الكسبي بأنه برنامج "لا يعطي بالضرورة الجواب الصحيح دوماً". تعتمد البرامج الكسبية على قواعد تجريبية (rules of thumb) أي قواعد تعتمد على الخبرة ولا تستند إلى أسس نظرية^(c).

^(b) كانت الجامعة (CMU) تُعرف بمعهد كارنيجي للتقانة (CIT: Carnegie Institute of Technology) في تلك الأيام.

^(c) إن أولئك الذين يكتبون البرامج الكسبية نادراً ما يوصفون مجموعة الشروط التي تعطي فيها البرامج الكسبية نتائج خاطئة. انظر المقطع الذي يعالج نظام الذكاء الصناعي وبناء المحلات.

"الكسبي" صفة لا تستحب أن تُعزى للبرمجيات (software) يمكن أن يستعمل الناس القواعد التجريبية (rules of thumb) بأمان، وذلك عندما تقضي القواعد القيام بعمل غبي، لن يقوم به الناس. والحواشيب تنفذ برامجهما دون مناقشة؛ والواجب أن تتحكم بها برامج نحن واثقون أنها تسلك سلوكاً صحيحاً في أي وضع يعترضها. وعليه يجب أن توثق المجالات التي يصلح استعمالها فيها بشكل واضح. تُحذر البرامج الموثوقة فعلاً مستعملها عند تطبيقها خارج المجال المحدد لاستعمالها. إن بإمكاننا استعمال البرامج الكسبية بأمان عندما تحقق ما يلي:

- ينبغي أن تسمح مواصفات البرنامج بوجود عدة حلول مقبولة، ويستعمل الحل الكسبي عندها لاختيار أحد هذه الحلول أو يحدد ترتيب أولوياتها.
 - ينبغي أن يسعى المفهوم الكسبي لتسريع برنامج يجري بحثاً لإيجاد حلٍ أو إقرار عدم وجود حل.
- أما في الحالات الأخرى فإن البرمجة الكسبية ليست برمجة موثوقاً بها.

ما حقيقة ما صرّح به ألان تورنغ

يُعدُّ ألان تورنغ Alan Turing أحياناً (مؤسس الذكاء الصناعي) وذلك بسبب مقاله المنشور عام 1950 وعنوانه (آلات الحوسبة computing machinery والذكاء). وغالباً ما يقال بأن ألان تورنغ اقترح في تلك المقالة اختباراً لذكاء الآلة. إنني أنصح أولئك الذين يعتقدون بأن تورنغ اقترح اختباراً لذكاء الآلة أن يقرأوا تلك المقالة. لقد أدرك تورنغ بأن العلم يتطلب الاتفاق على طريقة قياس الخصائص موضوع النقاش. ورفض تورنغ السؤال الآتي: (هل بإمكان الآلة أن تفكر؟) على أنه سؤال لا يستند إلى أساس علمي وذلك لأنه لا وجود لتعريف يعتمد على قياس (التفكر). ويرى أن هذا سؤال لا ينبغي لعالم أن يتصدى للإجابة عنه.

كتب تورنغ ما يلي: "يجب أن نجد معنى لكلمتي (الآلة) و(التفكر) بفحص كيفية استعمالهما في حياتنا اليومية. فإن من الصعوبة بمكان الإفلات من النتيجة الحتمية وهي أن معنى السؤال (هل يمكن للآلة أن تفكر؟) والإجابة عنه ستكون بصورة مسح إحصائي تماماً كما هو الشأن في سباق الخيول (Gallup poll). وهذا أمر سخيّف ومستهجن. وبدلاً من ذلك فإنني سأبدله بسؤال آخر يرتبط به ارتباطاً وثيقاً أعبر عنه بكلمات خالية من الغموض."

لقد جرى تعريف السؤال البديل الذي اقترحه تورنغ بتجربة. فوصف لعبة (لعبة محاكاة) يجيب فيها إنسان وآلة على جملة تساؤلات، ثم يعمد إلى راصدين يستمعون هذه الإجابات لتعرّف الآلة to identify the machine، وإذا لم يتمكن الراصدون من تعرّف الآلة تعرّفها موثوقاً فإن تلك الآلة تكون قد نجحت في الاختبار.

لم يدع تورنغ أبداً سؤاله البديل مكافئاً للسؤال (هل بإمكان الآلة أن تفكر؟) فقد كتب ما يلي: "إنني أعتقد أن السؤال الأصلي (هل بإمكان الآلة أن تفكر؟) هو سؤال لا معنى له ولا يستحق المناقشة." والخلاصة فإن سؤالاً لا معنى له لا يمكن أن يكون مكافئاً لسؤال علمي.

لم تكن مقالة تورنغ في معظمها تتناول موضوع ذكاء الآلة أو التفكير. فقد ناقشت كيفية اختبار ما إذا كان للآلة خاصية محددة تماماً أم لا. كما أنه خمن إمكان وجود آلة مستقبلاً تجتاز اختبارها أيضاً، ودخض الكثير من الحجج التي يمكن أن تستعمل للجزم بأنه لا وجود لآلة تستطيع اجتياز الاختبار الذي تقدم به. لم يجرب تورنغ تصميم آلة تتمكن من اجتياز اختبارها؛ ولا وجود لما يشير إلى أنه فكر وأن ذلك قد يكون مفيداً.

برنامج إليزا (Eliza) - جوزيف وايزنبوم

إن على أي شخص يهيمه اختبار تورنغ أن يدرس أعمال البروفسور الراحل جوزيف وايزنبوم من MIT⁽³⁾. ففي منتصف الستينيات أعد وايزنبوم برنامج محاكاة لطبيب نفساني روجيري (Rogerian psychotherapy)⁽⁴⁾ أطلق عليه اسم Eliza. أجرى البرنامج إليزا محادثات مثيرة للاهتمام مع مستعمليه، واعتقد بعض "المرضى" أنهم إنما يتحدثون مع شخص آخر، في حين أدرك آخرون أن إليزا هو في حقيقة الأمر آلة، ومع ذلك فقد رغبو الاستمرار في استشارتها. لم يُعدَّ كل من دقق ريمار (code) إليزا برنامجاً ذكياً، لم يكن للبرنامج معلومات حول مواضيع النقاش كما أنه لم يستنتج أي شيء من الحقائق التي زوّد بها. لقد اعتقد البعض أن وايزنبوم كان جاداً في محاولة ابتكار الذكاء بابتكار برنامج ذكي يمكنه أن يجتاز اختبار تورنغ. ومع ذلك فإن وايزنبوم أكد في محادثات معه أن ذلك لم يكن هدفه أبداً، بل على النقيض من ذلك. كان من الواضح أنه بابتكاره برنامجاً غير ذكي، لكن يمكن أن يجعل الناس يظنونه إنساناً، بيّن أن اختبار تورنغ لم يكن اختباراً للذكاء.

لعبة "مطابقة البني" لروبرت دوبشاك

قام الراحل روبرت دوبشاك نحو عام 1964⁽⁵⁾ وهو خريج (CMU) ببناء صندوق صغير يلعب لعبة مطابقة البني " Penny Matching"⁽⁶⁾ لقد هَرَمْنَا هذا الصندوق باستمرار. بناءً على ذلك اعتقدنا أنه صندوق ذكي جداً. وقد دلّ واقع الأمر على أن دوبشاك كان هو الذكي - وليست آله. فقد كانت الآلة تتذكر الحركات السابقة لخصمها، وكانت تقترض أن اللاعب سيعمد إلى تكرارها. وكما أوضح وايزنبوم فإن دوبشاك برهن أن الحاسوب قد يبدو ذكياً دون أن يكون في واقع الأمر كذلك. كما برهن على أن أي شخص يتاح له أن يطلع على محتوى صندوقه الصغير سيهزمه في اللعبة. وعليه فإن من الخطورة بمكان الاعتماد على برمجيات كهذه في تطبيق جدي.

تعرف المخرّف

سادت بحوث ومقررات الذكاء الصناعي في أيامها الأولى مسألة تعرف المخرّف character recognition. وكان الهدف كتابة برامج حاسوبية تتعرف حروفاً مكتوبة باليد أو مطبوعة. وهي مهمة إنجازها معظمنا اليوم دون عناء يُذكر، في حين تغدو للحواسيب مسألة صعبة. فالبرمجيات الخاصة بتعرف المخرّف ضوئياً التي نستعملها لتعرف المحارف في نص مطبوع جرى مسحه كان كثيراً ما تخطئ. إن كون تعرف الإنسان المخرّف سهل في حين أنه صعب على الحاسوب نستعمله للحؤول دون دخول البرامج إلى مواقع على الشبكة العنكبوتية. على سبيل المثال يعرض الموقع⁽⁹⁾ مشهداً CAPTCHA كالاتي:

(4) كان الأطباء النفسانيون يرددون صدى أصوات المرضى في إجاباتهم.

(5) إن الموت المفاجئ لدوبشاك حالت دون نشر عمله هذا، ولا أستطيع تحديد تاريخ الفاجعة.

(6) تتطلب لعبة دوبشاك لاعبين. يستعمل كل منهما قطعة نقود هي البني وهو يساوي جزءاً من مئة من الجنيه الإسترليني. فإذا تطابق وجه بني اللاعب الثاني عند كشفه مع وجه بني خصمه عند كشفه ربح الجولة وإلا خسرها. ويربح الثاني إذا كان الخيار مخالفاً.

(9) وُجد هذا المثال في الويكيبيديا.



ويطلب الموقع من المستخدم أن يُدخل الكلمة "smwm". إن هذا الأسلوب مستعمل بنجاح لأن مسألة تعرف المِحْرَف حاسوبياً لم تنجز حتى الآن.

علمنا خبراء الذكاء الصناعي الأوائل تصميم برامج لتعرف المِحْرَف (الحروف والأرقام) بمقابلة قُرَاءٍ بَشَرٍ. فقد يُسأل القارئ كيف تميز بين الرقم "8" والحرف "B". كانت القواعد المقترحة بهذا الشأن تقشَل دوماً عند الاختبار. فالناس يستطيعون تمييز ذلك بسهولة إلا أنهم لا يمكنهم تفسير كيفية حدوث ذلك.

إن برمجيات تعرف المِحْرَف الحديثة تعتمد بنوطاً fonts محددة هي التي تستعملها، وهي تحلل خصائص المحارف في تلك البنوط. في حين يتمكن معظم الناس من قراءة نص مكتوب ببِنُوط جديدة دون دراسة خصائصها، تعجز الآلة عن ذلك غالباً. ولعل أفضل حل لهذه المشكلة تجنُّبها. أما النصوص المكتوبة على الحاسوب فإنه تتوفر لها متواليّة محارف (string) تقرؤها الآلة وصورٌ يقرؤها الإنسان على السواء. ولا يتطلب الأمر عندها تعرف المِحْرَف.

نظام ذكاء صناعي لبناء المحلّلات (parsers)

لقد قمت بصفتي استاذاً جديداً بإعداد لقاءات مع ثلاثة من زملائي المشهورين لسؤالهم كيف نعرّف موضوعاً جيداً يعمل عليه طلابي لنيل شهادة الدكتوراه. فقدم الراحل ألان بيرليس (Alan Perlis) الحائز الأول لجائزة تورنغ ذات الشأن (ACM) أفضل جواب لسؤالي. إذ قال دون أن يترك ما كان يقوم به من عمل "يا ديف ستعرف واحداً منها عندما تراه. إنني مشغول، اتركني وشأني وغادر من فضلك". أما الراحان الآخران لجائزة تورنغ وهما الراحل ألن نويل (Allen Nowell) والراحل روبرت فلويد (Robert Floyd) فقد قال كل منهما إنه لا يستطيع الإجابة عن سؤالي مباشرة عندما التقيت مع كل منهما على انفراد، وقالا بأنهما بصدد مناقشة أطروحة جيدة وأخرى سيئة. والطريف في الأمر أن جواب نويل لأطروحة جيدة كان نفسه هو جواب فلويد لأطروحة سيئة.

قدمت الأطروحة موضوع النزاع برنامج ذكاء صناعي يولّد محلّلات (parsers) ^(h) مصدرها قواعد لغوية. وقد رآها نويل جيدة لأنها برهنت أن الذكاء الصناعي يمكنه أن يجد حلاً لمسائل عملية. في حين رأى رائد في مجال المحلّلات أنه لا أحد يمكن أن يعلمه ما هي صنف القواعد التي تستطيع مولدات المحلّلات معالجتها، وبإمكانه أن يبرهن على أن صنف القواعد تلك أصغر من أصناف اللغات التي يمكن معالجتها بفضل تقنيات رياضية معروفة سابقاً. وباختصار يمكننا القول إن منظومة الذكاء الصناعي بدت مفيدة إلا أنها كانت أقل براعةً من النظم التي لا تستعمل الطرائق الكسبيّة (heuristic methods). ولقد علّمني بوب فلويد (Bob Floyd) أن أي برنامج ذكاء صناعي قد يبدو مثيراً للإعجاب إلا أنه يغدو برنامجاً هزياً إذا ما قورن بمقاربات تعتمد على الرياضيات.

^(h) تشكّل المحلّلات parsers جزءاً هاماً من المصنّفات compilers. فهي تقسم أي برنامج إلى أجزاء يتركب منها. وكانت المحلّلات قبل عمل فلويد يقوم بها الإنسان. أما خوارزمية فلويد فكانت تقوم بذلك آلياً لفئات عديدة من اللغات.

نظام ذكاء صناعي (يفهم) الرسوم والنصوص

وُصِفَ برنامجٌ في أطروحة أعدت لنيل شهادة دكتوراه عام 1967 في مجال الذكاء الصناعي بأنه يوهم بـ (تفهم) نصوص اللغة الطبيعية إضافة إلى الصور. فباستعمال قلم ضوئي ومظهر بياني⁽¹⁾ (graphics display) يمكن للمستعمل رسم أشكال هندسية. يمكن للمستعملين طرح أسئلة عليه باستعمال لوحة المفاتيح عن الرسوم. مثلاً يمكن أن يسأل "هل يوجد مثلث ضمن المستطيل؟" ولدى عرض معدّ البرنامج ليبيّن ذلك للجمهور ظهر كأن البرنامج "يفهم" كلاً من الصور والأسئلة. وكنت قد قرأت أطروحة المرشح بوصفي عضواً في اللجنة الفاحصة ورغبت في أن أجرب البرنامج بنفسي. لقد استعمل النظام برامج كسبئية heuristics أخفقت في عملها أحياناً. أدخلت أمثلة بشكل متكرر جعلت النظام يفشل. أما في مجال الإنتاج فإن النظام غير جدير بالثقة تماماً ولا يُعتمد عليه.

كان المشرف على هذه الأطروحة شخص حائز لجائزة تورنغ واسمه Herbert Simon، وكان ردُّ فعله على ملاحظاتي في أن النظام لم يعمل جيداً هو "إن النظام لم يصمم لمستعملين معادين". لقد دلت الخبرة على أنه يجب إعداد النظم الحاسوبية بحيث تتعامل مع مستعملين غير مبالين وأحياناً معادين. فالتقانات المستعملة في تلك الأطروحة لن تكون مقبولة في أي منتج تجاري. وإذا استعملت برامج كسبئية في تطبيقات ذات شأن فستكون المسألة القانونية عندها لمن أعدها مسألة خطيرة.

مساعد ذو ذكاء صناعي على خط تجميع

يمكن لخط تجميع أن يُسرّع إنتاجه إذا استعان بمساعدين يناولون العمال أدوات (عدّة): كانت عادة العاملين على خط الإنتاج عند انتهاء عملهم من استعمال أداة ما أن يلقوها في صندوق، وإذا دعت الحاجة لاستعمال الأداة ثانية فإن المساعد يسترجعها من الصندوق، ويناولها للعاملين على خط التجميع.

جرى التعاقد مع مخبر بحوث متقدم في الربوطات -وهو قمة في هذا المجال- لابتكار ربوطات تقوم بأعمال المساعدين على الخط، فدلت التجربة على وجود صعوبة فائقة لم تكن متوقعة. إن أفضل الخوارزميات في مجال الرؤية الحاسوبية (computer vision) لم تتمكن من إيجاد الأداة المناسبة بين كومة الأدوات (العدّة). وجرى تغيير المسألة في نهاية المطاف، وعُدلت بحيث يقوم العمال على الخط بتسليم الأداة للربوط الذي يقوم بدوره بوضعها في الصندوق في موضوع محدد. وكان الربوط يتذكر موضع الأداة ويستخرجها منه بسهولة. وهكذا فقد عجز المساعد ذو الذكاء الصناعي عن محاكاة عمل الإنسان، في حين أنه يستطيع العمل أكثر منه. واقتضت الحكمة تعديل المسألة وتفضيلها على حلول تستعمل فيها حلول كسبئية.

الذكاء الصناعي باللغة الألمانية⁽¹⁾

عندما كان الذكاء الصناعي في بداية عهده زار باحث ألماني في علم النفس باحثين رائدين في مجال الذكاء الصناعي هما سيمور بابرت (Seymour Papert) ومارفن منسكي (Marven Minsky)، من MIT (وكلاهما الآن ميت). فقد سأل الزائر

⁽¹⁾ عتاد (hardware) متقدم في ذلك الحين.

⁽²⁾ إنني لا أكفل صحة هذه القصة، فقد رُويت لي على أنها قصة واقعية، ولم أكن موجوداً عند حدوثها. وقد أقحمتها في مقالتي لأنها تشتمل على درس هام.

كيف تقولان "الذكاء الصناعي" باللغة الألمانية وذلك لأنه وجد أن الترجمة الحرفية لها باللغة الألمانية هي (Künstliche Intelligenz)^(k) وهي ترجمة لا معنى لها.

لم يكن أي من الباحثين المزورين يتكلم اللغة الألمانية. ومع ذلك فقد دعوا الزائر لحضور مؤتمر حول الذكاء الصناعي، فلعله يدرك معنى المصطلح بعد الاستماع لمحاضرات المشاركين. وأعلن الباحث الزائر بعد ذلك أن الترجمة لمصطلح الذكاء الصناعي إلى اللغة الألمانية هي (natürliche Dummheit) وهي تقابل (natural stupidity) أي الغباء الطبيعي، وذلك لأن الباحثين في الذكاء الصناعي كانوا يخالفون قواعد أساسية في البحوث النفسانية. وقال إن الباحثين في المجال النفساني لا يسألون عادة المرضى عن كيفية حل معضلة ما، لأن الجواب قد لا يكون دقيقاً، وإذا سألوا فإنهم لا يتقنون بالإجابات. وبالمقابل فإن الباحثين في مجال الذكاء الصناعي كانوا يسألون لاعبي الشطرنج كيف توصلوا لقرارهم باتخاذ الخطوة التالية، ثم يكتبون برامج تعتمد على إجابات اللاعبين.

الشبكات العصبونية الصناعية

تعتمد مقارنة أخرى للذكاء الصناعي على نمذجة الدماغ. فالدماغ ليس إلا شبكة مؤلفة من وحدات تسمى عَصَبونات (neurons). حاول بعض الباحثين إنتاج ذكاء صناعي عن طريق محاكاة بنية الدماغ. فأوجدوا نماذج للعصبونات واستعملوها لمحاكاة الشبكات العصبونية. إن بإمكان الشبكات العصبونية الصناعية artificial neural networks إنجاز مهام بسيطة، إلا أنها تعجز عن إنجاز أي عمل يمكن تحقيقه بالحواسيب التقليدية. وبوجه عام يمكن القول بأن البرامج التقليدية أفضل أداءً. فقد بينت تجارب عديدة أن الخوارزميات الرياضية التقليدية تتفوق على الشبكات العصبونية. نشير إلى أن هناك رغبة بديهية في إنشاء دماغ صناعي يعتمد على نموذج دماغ بيولوجي، إلا أنه ليس لدينا سبب للاعتقاد بأن ذلك سيكون طريقاً عملياً لحل المشاكل.

الإفادة من الفيزياء والرياضيات

عرض باحث ورقة أعدها لاستعمال الذكاء الصناعي في معالجة الصور، على مجموعة تضم عدة خبراء في معالجة الإشارات الرادارية. فلاحظ هؤلاء أن البرنامج استعمل حالات خاصة من خوارزميات معالجة الإشارة المستعملة على نطاق واسع. وطرحوا على الباحث سؤالاً هو "ما الجديد في عملك؟". كان المحاضر غير ملمّ بتقانات معالجة الإشارة، فأجاب بقوله "إن طرائقي جديدة في مجال الذكاء الصناعي". تسيطر غالباً على الباحثين في مجال الذكاء الصناعي فكرة محاكاة المخلوقات البشرية إلى درجة أنهم يهتمون بالمقاربات العملية لمعالجة أية مسألة.

قارنت دراسة بناء أنظمة تحكّم بدرجة الحرارة بين مقارنة باستعمال الذكاء الصناعي وأخرى طورها مهندسون خبراء في هذا المجال. لقد كان برنامج الذكاء الصناعي يستكشف الوضع في كل غرفة ويضبط درجة الحرارة فيها بالتبريد أو بالتدفئة بحسب الحالة. استعمل المهندسون نموذج تدفق حراري (heat-flow model) يشتمل على توجّه البناء، وعلى مقدار الطاقة الشمسية الذي يرد على أجزاء منه، وعلى امتصاص الحرارة وضياعاتها في هيكل البناء وغير ذلك. استعمل المهندسون هذا

(k) الترجمة الحالية بالألمانية.

النموذج لكشف الحاجات المتوقعة ولِصَخِّ الحرارة من جزء من البناء إلى أي جزء آخر منه، وصمموا نظاماً ذا مردود طاقي أفضل قتل من تآرجحات درجة الحرارة.

لا يتمتع الإنسان بإمكانات الحساب والقياس التي تتوفر لدى نظام حاسوبي حديث. إن النظام الذي يحاكي البشر لن يكون بجودة نظام آخر يعتمد نماذج فيزيائية ومُحسَّات sensors حديثة.

الإنسان يحل المسائل الفيزيائية المعقدة في جميع الأوقات. مثلاً، الركض أمر معقد. والعَدَّاءون (runners) يحافظون على توازنهم بصورة بديهية، إلا أنهم لا يدركون كيف يفعلون ذلك. إن حل مسألة تحكّم ما يجب أن يعتمد على قوانين فيزيائية وعلى الرياضيات، وليس على محاكاة البشر. إن بإمكان الحواسيب أن تبحث بسرعة في فضاءات معقدة تماماً، في حين أن البشر يعجزون عن ذلك. فمثلاً لو أراد شخص قيادة عربة إلى منطقة لم يسبق له أن زارها، فإنه على الأغلب سيغيّر الطريق إلى منطقة قريبة من تلك زارها سابقاً. يوضع اليوم تحت تصرف تجهيزات الملاحة (navigation devices) أحدث المعطيات وهي تحسب الطريق بدءاً من الصفر، وتتمكن غالباً من إيجاد الطريق على نحو أفضل مما يمكن للإنسان فعله.

التعلّم الآلي

ثمة مقارنة أخرى لتوليد الذكاء الصناعي ألا وهي بناء برامج ذات قدرات أولية دنيا، لكنها تُحسِّن أداءها أثناء الاستعمال، يسمى هذا المجال التعلّم الآلي machine learning. ليست هذه المقاربة جديدة، فقد تصور تورنغ برنامجاً له إمكانات طفل بحيث يمكن تعليمه كما يتعلم الطفل⁽¹⁾. ليس التعلّم أمراً سحرياً، فهو يستعمل المعطيات التي تتجمع إبان الاستعمال لتحسين الأداء المستقبلي، وهو أمر لا يتطلب "ذكاء". إن آلة روبرت دوشاك البسيطة لمطابقة قطعة نقدية استعملت المعطيات الخاصة بسلوك الخصم وبدت كأنها "تتعلم". إن استعمال مصطلحات تجسيمية ذات منشأ بشري (anthropomorphic) يحجب الآلية الحقيقية.

إن إعداد برامج "تتعلم" يبدو أكثر سهولة من تحليل المسألة الواقعية، إلا أن هذه البرامج غير موثوق بها. فالبرامج التي "تتعلم" تعاني من نقاط ضعف خوارزميات "صعود التلال"⁽²⁾، إذ إنها قد تخطئ بلوغ الحل الأمثل. وقد تخطئ أيضاً بسبب الخبرة المنحازة. يمكن النظر إلى التعلّم على أنه ضَرْبٌ مقيدٌ من التصنيف الرياضي الإحصائي المتطور جداً. إن خوارزميات التعلّم الآلي هي خوارزميات كسبيّة heuristic وقد تفشل في الظروف غير الاعتيادية.

أخلاقيات الربوطات

عندما ينظر الناس إلى الحواسيب على أنها كائنات تفكر أو لديها إحساس وشعور، تبرز للعيان قضايا أخلاقية. فالأخلاقيات تسأل تقليدياً فيما إذا كان استعمال أي جهاز أو أداة هو استعمال أخلاقي. يناقش العديد من الناس اليوم التزاماتنا الأخلاقية في الذكاء الصناعي، وما إذا كانت تطبيقات الذكاء الصناعي تتعامل معنا أخلاقياً. يعرض لنا علماء الأخلاق أحياناً حالتين لهما عاقبتان سيئتان ويُطلب من الذكاء الصناعي أن يختار بينهما، ويسألون ماذا يجب على الجهاز أن يفعل. ونظراً لتعرض الناس لوضع مماثل فقد نوقشت هذه المعضلات قبل وجود الحواسيب بأزمنة طويلة. يناقش البعض فيما إذا كان علينا أن

⁽¹⁾ تماثل خوارزميات صعود التلال أشخاصاً يصعدون التلال مشياً على الأقدام. وقد يفرضي بهم الأمر فيبلغوا قمة سَطْحٍ بعيدة جداً عن ذروة الجبل الذي يقصدون.

نتخلى عن الذكاء الصناعي ونطرحه جانباً. إن هذه التساؤلات تحرفنا عن السؤال الحقيقي ألا وهو "هل الآلة موثوق بها بالدرجة الكافية كي نستعملها؟"

التلاعب بالكلمات

ينظر الباحثون في الذكاء الصناعي في الطريقة التي يتغير فيها معنى الكلمات: إن استعمال كلمة "الربوط" مثال على ذلك. لقد بدأ استعمال "الربوط" على أنه كلمة مصدرها تشيكوسلوفاكية وردت في مسرحية لكارل كابك (Karel Capek) تحمل الرمز (R.U.R.) وهو مختصر العبارة (Rossum's Universal Robots). لقد كانت ربوطات كابك بصورة أناسي ولا يمكن تمييزها أبداً عن المخلوقات الحية، وكانت تتصرف تصرف الإنسان تماماً. فإذا استعمل "الربوط" بهذا المعنى فإن بناء الربوطات مسألة تشتمل على التحدي. إلا أن الربوطات اليوم تستعمل في المكينة الكهربائية، وفي تجهيزات التخلص من المتفجرات، وفي الطائرات المسيرة بدون طيار (drones)، وفي المعامل المؤتمتة. ويدعي العديدون بأنهم يصنعون ربوطات أو أدوات تشبه تلك التي استعملها كارل كابك، إلا أنها في واقع الأمر بعيدة عنها كل البعد. يضيف التلاعب بالكلام هذا جواً سحرياً ويبعدنا عن تفحص الآلية الحقيقية لنتبين ما إذا كانت الآلية جديرة بالثقة أم لا. علينا أن ننظر إلى "الربوطات" اليوم على أنها آلات تستطيع أن تعمل، وأن نقيّمها على هذا الأساس. أما عند مناقشة قضايا الذكاء الصناعي فإن من المهم طلب تعاريف دقيقة لها.

الذكاء الصناعي وابتكار التضليل

يشير ألان بيرلس (Alan Perlis) إلى الباحثين في الذكاء الصناعي على أنهم "مضللون" illusionists لأنهم يسعون إلى خلق وهم الذكاء. ويرى أنه ينبغي أن ينظر إليهم على أنهم سحرة المنصات وليسوا علماء. لقد أوضح (دوبشاك) و(وايزنبوم) أن من السهولة بمكان خلق وهم الذكاء.

إننا لا نريد نُظماً حاسوبية تعمل بالحيل، ونريد أدوات يمكن الاعتماد عليها وموثوقة. إن النظم الموثوقة هي نُظْم تستند إلى أسس رياضية وإلى قاعدة علمية، وليس إلى الأعيب مرجحة أو كسبية.

الاستنتاج

عندما يتكلم المطورون في الذكاء الصناعي يطرحون تساؤلات. وعلى الرغم من انعدام تعريف واضح ومقبول عموماً للذكاء الصناعي فهو يعني بالنسبة إليهم أمراً محدداً. فمصطلح الذكاء الصناعي يخفي الآلية الحقيقية لعمله، وهو يخفي غالباً طرائق قدرة لا يمكن الوثوق بها، وقد يخفي كذلك آلية تعمل بشكل سليم. وقد يستعمل الذكاء الصناعي منطقاً سليماً ومعلومات دقيقة، كما يعتمد على تطبيق استدلالات إحصائية باستعمال معطيات ذات مصدر غير موثوق، ويمكنه أن يكون ذا خوارزمية لها بنية جيدة وتعمل على نحو صحيح، وقد يتكون من مجموعة من البرامج الكسبية دون تحديد مجال عملها. إننا لا نثق بأي جهاز ما لم ندرك كيفية عمله.

إن طرائق الذكاء الصناعي تكون أقل خطراً عندما يكون مقبولاً الحصول على نتيجة خاطئة أو عند عدم الحصول على نتيجة البتة. وإذا كنت مستعداً لقبول عبارة "أنا لا أفهم" أو لسماع جواب خارج عن الموضوع من "مساعد شخصي" فإنه لا ضرر عندها من الذكاء الصناعي. أما إذا كانت الإجابة هامة فعليك أن تتردد في استعمال الذكاء الصناعي.

تعمل بعض برامج الذكاء الصناعي دوماً تقريباً. وهي برامج خطيرة لأننا نتعلم الاعتماد عليها. وقد تمر حالة فشل دون أن يكتشف الذكاء الصناعي وجودها، بل إنه حتى حين كشف حالات الفشل تلك، فإن مستعمليه سوف يكونون غير مستعدين للتخلي عن استعمال الجهاز.

لا تتخدع بالتجارب التوضيحية: فهي غالباً مضللة لأن من يقوم بعرضها يتجنب عرض الحالات التي يفشل فيها الذكاء الصناعي. تستطيع الحواسيب القيام بأعمال كثيرة أفضل من الناس. لقد تطور البشر بواسطة سلسلة من التحسينات البسيطة التي لم تجعلنا نبلغ التصميم الأمثل. لقد تطورت الطرائق "الطبيعية" لاستعمال مُجَسَّاتنا (sensors) ومفَعَلاتنا (actuators) المحدودة. إن الحواسيب الحديثة تلجأ لاستعمال مُجَسَّات أكثر حساسية ومفَعَلات تعمل عن بُعد، ويمكنها تطبيق طرائق رياضية يُنظر إليها على أنها غير عملية بالنسبة إلى البشر. لذا يبدو أنه سيكون من غير المحتمل أن تكون طرائق البشر هي الطرائق الأنسب للحواسيب.

عندما رفض تورنغ السؤال "هل بإمكان الآلة أن تفكر؟" رفضه لأنه سؤال غير علمي، ووَضَعَ سؤالاً آخر ليوضح ما يعنيه بكلمة "علمي". لقد كان محقاً في ذلك إلا أنه ضلَّنا. إن الباحثين الذين يعملون على "سؤاله البديل" يضيعون وقتهم وغالباً ما يضيعون معه الموارد. نحن لا نحتاج آلات تحاكي الإنسان، وإنما نحتاج آلات تعمل ما يعجز الإنسان عن عمله، أو آلات تعمل أعمالاً لا يرغب الناس القيام بها، أو أعمالاً لا ينجزونها بالشكل الجيد.

وبدلاً من التساؤل "هل يمكن لحاسوب أن يفوز أو أن يربح في لعبة المحاكاة لتورنغ؟" علينا أن ندرس أسئلة أكثر تحديداً مثل "هل يمكن لنظام حاسوبي أن يتحكم بأمان بسرعة سيارة عندما تلحق بأخرى؟" هناك العديد من التساؤلات العلمية المهمة والمثيرة حول إمكانات الحواسيب. وبالتأكيد فإن سؤالاً مثل "هل يمكن للحاسوب أن يفكر؟" و "هل هذا البرنامج ذكي؟" ليسا من هذا القبيل.

إن الخوارزميات القابلة للتحقق هي أفضل من البرامج الكسبيَّة heuristics. فالتجهيزات التي يعتمد علمها على البرامج الكسبية لخلق وَهْم الذكاء خطيرة ويجب علينا ألا نقبلها.

المراجع

- [1] Turing, A.M. Computing machinery and intelligence. *Mind* 59 (1950), 433–460.
- [2] Weizenbaum, J. Automating psychotherapy. ACM Forum Letter to the Editor. *Commun. ACM* 17, 7 (July 1974), 425; doi: 10.1145/361011.361081.
- [3] Weizenbaum, J. ELIZA—A computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Commun. ACM* 9, 1 (Jan. 1966), 36–45; doi: 10.1145/365153.365168.

المؤلف

يعمل **David Lorge Parnas** لشركة Middle Road Software في أوتاوا بكندا. وهو بروفيسور فخري Emeritus بجامعة McMaster University في كندا وجامعة Limerik في إيرلندا.

التفكير الحسائي المتوازي

PARALLEL COMPUTATIONAL THINKING*

Keith Kirkpatrick

ترجمة: د. محمد سعيد دسوقي

مراجعة: د. رضوان قسطنطين

يجب برمجة التطبيقات لمعالجة التعليمات على التوازي بغية الاستفادة الكاملة من المعالجات الجديدة المتعددة النوى.

عند تعلم مهارة جديدة، من المفيد غالباً البدء من الأمور البسيطة ثم إضافة تعقيد أكبر عندما يكتسب المتعلم خبرة وتجربة وإماماً أكبر بالموضوع المطروح.

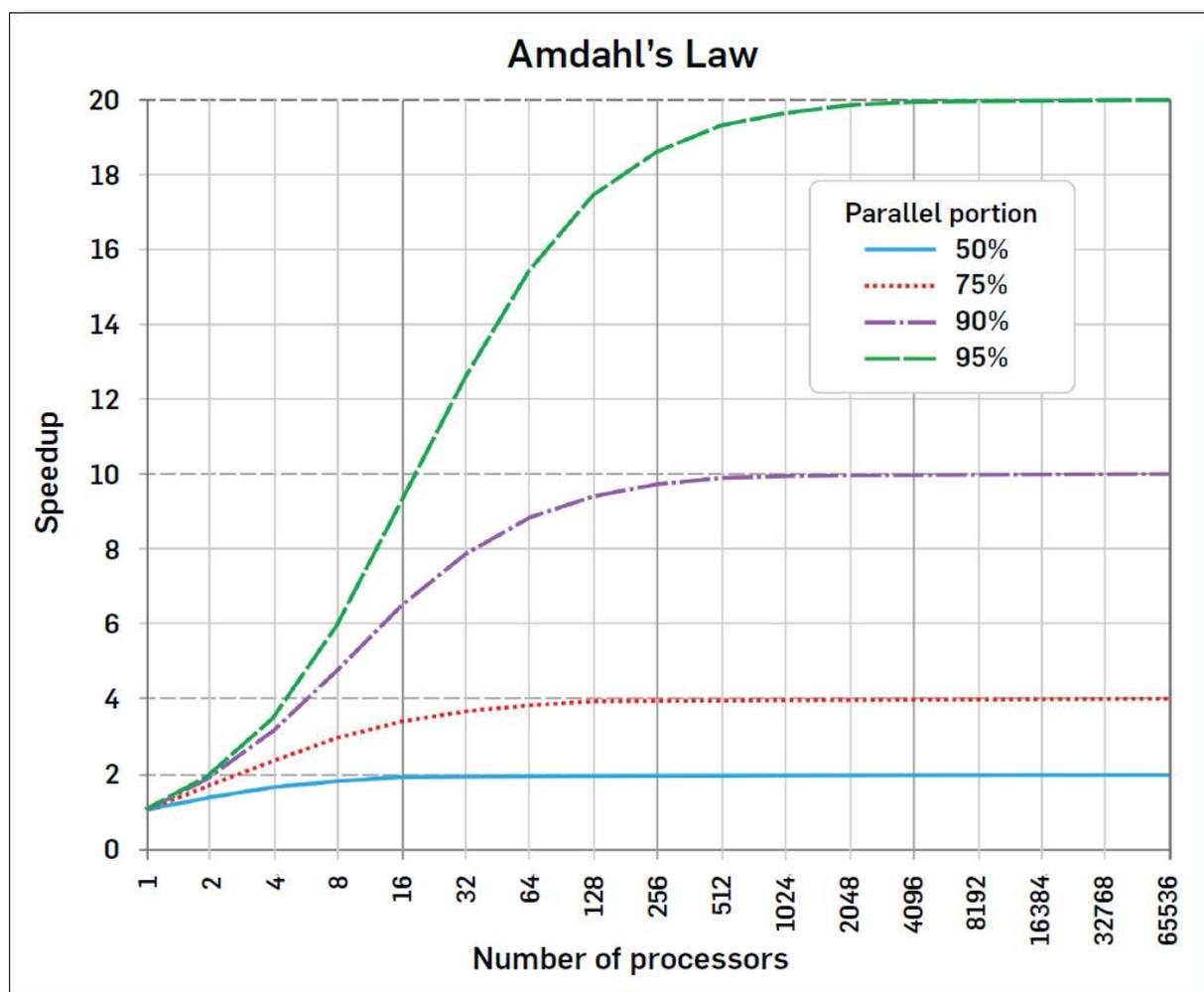
في الواقع، اتبع معظم تعليم علوم الحاسوب هذا الخط من التفكير، عن طريق تدريس طلاب علوم الحاسوب المبتدئين ليكتبوا برامج تُنفذ تعليمة واحدة في كل مرة، ثم تنتقل إلى التعليمة التالية. يُعرف ذلك بالبرمجة التسلسلية، وقد كانت إلى حد بعيد النموذج المقبول لتعليم علوم الحاسوب في مستويات الجامعة والتعليم الأساسي، على النقيض من الحوسبة المتوازية، وهي نموذج من البرمجة تجري فيه معالجة تعليمات متعددة في الوقت نفسه.

يشرح تشارلز تشيب ويلز وهو أستاذ مشارك في علوم الحاسوب في جامعة ماساتشوستس ذلك بقوله: "ما يزال النظام التعليمي، غالباً بسبب الجمود، يركز على نمط الحوسبة السائد في القرن العشرين، حيث كان هناك معالج واحد ينفذ التعليمات واحدة تلو الأخرى، لذلك كان الحل الخوارزمي للمسائل موجهاً رئيسياً بالنموذج التسلسلي".

ومع ذلك، تستفيد اليوم معظم التطبيقات التي تعمل على الهواتف الذكية والأجهزة اللوحية والحواسيب الشخصية من المعالجات المتعددة النوى، التي تكون ضرورية عند العمل مع مجموعات المعطيات الكبيرة التي تقود كلاً من تطبيقات المستهلكين مثل تويتر وفيسبوك، إضافة إلى التطبيقات المتعلقة بالأعمال والتجارة مثل مواقع صفقات السفر وتطبيقات الطقس ومعطيات حركة السير في الزمن الحقيقي. للاستفادة الكاملة من هذه المعالجات المتعددة النوى، نحتاج إلى تطبيقات برمجية تعالج التعليمات على التوازي -مما يسمح بمعالجة تعليمات متعددة في الوقت نفسه.

إن تدريس طلاب علوم الحاسوب الجدد ليفكروا ويبرمجوا على التوازي لن يؤهلهم فقط لبرمجة هذه التجهيزات على نحو أفضل، بل سيساعد أيضاً على تدريب عقولهم على التفكير التجريدي لحل المسائل بدلاً من مجرد كتابة الرمز code.

* نُشر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 60، العدد 12، كانون الأول (ديسمبر) 2017، الصفحات 17 - 19.



مخطط يبين قانون أمدال الذي يقول إن تسريع speedup برنامج ما بنتيجة تطبيق التوازي مقيد بكمية البرنامج التي يمكن جعله متوازيًا (parallel portion).

يقول دان غروسمان الأستاذ في مدرسة بول ألين لعلوم الحاسوب والهندسة في جامعة واشنطن وعضو لجنة ACM التحضيرية لمناهج الحوسبة التي أنهت عملها في 2013: "تفقدت البنيان الحاسوبية التوازي على مستوى التعليمات لعقود بطريقة تمكّن الأغلبية الغالبة من المبرمجين من تجاهل وجودها". ويقول: "لو بقي ذلك الشكل هو النوع الوحيد من التوازي لكانت حجة تدريس التوازي في المستوى الجامعي أضعف بكثير. لكن لم يبق ذلك هو الشكل المسيطر؛ فقد أخذ الأمر مجراه، وأضفنا أشكالاً أخرى من التوازي لا تخفى على المبرمجين بنفس القدر."

عرفت مجتمعات الحوسبة الحاجة إلى ضم التوازي باعتباره جزءاً من نواة مناهج كليات علوم الحاسوب. فأصدرت ACM بالمشاركة مع IEEE توجيهاً جديداً في عام 2013 وأوصت بضم تعليم التوازي إلى المنهاج. ومع أن تلك هي فقط توجيهات، ومعظم الجامعات ما تزال تميل إلى تدريس مفاهيم البرمجة المتوازية فقط للطلاب في المراحل الأكثر تقدماً، فإن هناك دفعاً متزايداً لإضاعة التوازي إلى مقررات البرمجة في مستوى الثانوي منذ البداية.

يقول ويمز: "في السنوات الخمس عشرة الأخيرة أصبحت النظم متوازية كلياً تقريباً. إن لم تكن تتحدث عن النظم المضمنة الصغيرة فإن كل شيء يمكنك مصادفته هو متعدد النوى أي متعدد النياسب، وتقريباً كل شيء يأتي مع معالج بياني يمكن برمجته."

فضلاً على ذلك، تسمح البرمجة المتوازية - وتدريب الطلاب التفكير على مستوى أعلى - للبرمجة بأن تكون أكثر مباشرة وإيجازاً، مقارنة بالبرمجة التسلسلية، بحسب غوي بليوش وهو أستاذ وعميد مشارك في برامج الهندسة في قسم علوم الحاسوب في جامعة كارنيج ميلون: "ليست البرمجة المتوازية أسهل بكثير من البرمجة التسلسلية ولكنها على المستوى التجريدي تجعل حل المشكلة بسيطاً ومتوازياً في الوقت نفسه."

يقول بليوش الذي يشير إلى أن جامعة كارنيج ميلون تدرّس التوازي من البداية في مقرر مقدمة بنى المعطيات والخوارزميات خلال الفصل الأول من السنة الدراسية الثانية: يمكن عن طريق تدريس الطلاب المبتدئين في علوم الحاسوب كيفية التفكير في حل المسائل على نحو مجرد أن يتجاوزوا الفهم الأساسي للبرمجة إلى جوهر حل المسائل.

ويقول بليوش: "هناك تركيز شديد في مقدمات البرمجة على الحلقات loops وهي ليست جيدة بهذه الأهمية. غالباً ما تريده فقط هو أن تفكر بكيفية إضافة عدد خمسة إلى كل عنصر في صفيحة ما. يمكن أن تبدأ بالحلقة، لكن الطريقة الصحيحة للتفكير بذلك هي أنك فقط تريد أن تضيف عدداً لكل عنصر في الصفيحة. بتنفيذ التوازي فإنك تركز أكثر على الأفكار التي وراء ذلك في مقابل الغرق في تفاصيل الحلقات."

يقول ويمز: "هناك فائدة إضافية للتوازي، فعندما يتعلم طالب ما البرمجة المتوازية فإن ذلك يساعده على تطوير نهج أكثر مرونة في حل المسائل، لأن هنالك نماذج خوارزمية أكثر يمكن الاعتماد عليها." ومع أن هنالك أيضاً الفائدة الإضافية لتعلم كيفية تجزئ المسائل الضخمة إلى مسائل أبسط، فإن التوازي يتطلب أيضاً من المبرمج أن يتعلم تجريدات بديلة للمسألة.

يقول ويمز: "هناك حالات يمكن فيها تقسيم المسألة إلى مهام جزئية، لكن تؤدي عوامل مختلفة إلى ضرورة اختيار نهج خوارزمي. في بعض الأحيان يكون الاتصال عن طريق الذاكرة المشتركة هو الأكثر فعالية، لكن في حالات أخرى من الأفضل العمل محلياً والاتصال عن طريق الرسائل، أو استعمال خليط من هذين النهجين في مستويات مختلفة. يجبر التوازي المبرمجين على النظر بوضوح وشمولية إلى التفاعلات التي تجري بين المعطيات والعمليات عند حل المسألة باعتبار جوانب أكثر من تلك المتوفرة في النموذج التسلسلي."

يلاحظ ويمز أيضاً، باعتباره عضواً في مجموعة تطوير المناهج والموارد التعليمية في مركز الحوسبة المتوازية والموزعة، الممول من مؤسسة العلوم الوطنية في الولايات المتحدة الأمريكية، أن هناك طلباً من مخابر العلوم الحكومية وكذلك شركات صناعة التقانة على المبرمجين الجدد الذين لديهم مهارات برمجة متوازية.

بدأت بعض الجامعات الرئيسية مثل جامعة ماساشوسيتس، حيث يعمل ويمز عضواً في الهيئة التدريسية، بإضافة التوازي إلى مناهجها وحصلت على نتائج واعدة. مثلاً، تسلط إحدى المقالات التي كتبها أعضاء هيئة تدريسية من جامعة ولاية تكساس، الضوء على نجاح مناهجها الجديد الذي أطلق في العام الدراسي 2016-2017. بحسب المقالة فإنه تم إدخال مفاهيم الحوسبة المتوازية وإعادة تكرارها في سلسلة من الوحدات المستقلة المختصرة ضمن مقررات أقسام متعددة. ثم جرى تجميع معظم المفاهيم في مقرر تنويعي على مستوى الخبراء في البرمجة المتعددة النوى. تُظهر التقييمات التي

أجريت خلال السنة الأولى نتائج مشجعة لهذا النهج المبكر من المخرجات التعليمية واهتمامات الطلاب ومكاسب الثقة في علوم الحاسوب.

ما يزال بعض المعلمين غير مقتنعين بضرورة إدخال التوازي في المقررات التمهيديّة أو تقسيمات المستويات الدنيا من علوم الحاسوب لتخريج مبرمجي حاسوب مستقبليين مدربين جيداً.

يقول مارك غوزديال الأستاذ في مدرسة الحوسبة التفاعلية في معهد جورجيا للتقانة: "نحن نعيش في عالم من التجهيزات المتعددة النوى، لكنني لا أعلم أمن الضروري تدريس البرمجة المتوازية للجميع؟ ربما من الأفضل البدء بالبرمجة التسلسلية ثم الانتقال إلى البرمجة المتوازية."

يقول غروسمان: يمكن أن يعتمد قرار تدريس عناصر التوازي مبكراً ضمن مسار المقررات أيضاً على ما سيجري التركيز عليه في هذه المقررات، مع ملاحظة أنّ مفاتيح تضمين التوازي هو في الحد من تعقيد البرنامج نفسه بضمان عدم الاعتماد الكبير للحسابات والمتغيرات إحداها على الأخرى خلال عمليات المعالجة المتوازية.

يقول غروسمان: "تكمن طريقة جعل التوازي يعمل على نحو صحيح في استعمال أقل عدد ممكن من المتغيرات المشتركة التي يمكن أن تتغير قيمتها، بملاحظة أنه بدلاً عن استعمال متغير واحد يمكن أن يغيّر قيمته، ربما من الأفضل ببساطة برمجة متغير ثانٍ يمكن أن يحمل القيمة الثانية."

يضيف غروسمان: "هنالك طرائق مختلفة لتدريس مبادئ البرمجة بدون التوازي مما يجعل إضافة التوازي فيما بعد أصعب أو أسهل. لم أر تركيزاً كبيراً على التوازي في بداية تعرّض الطلاب للبرمجة في مراحل ما قبل الجامعة، وأعتقد أن ذلك جيد."

يملك هانسيل لين مدرسة كودرسكول في وادي السيليكون وهي امتياز تجاري لتعليم البرمجة بعد المدرسة، لتعليم الأطفال من عمر 8 إلى 18 حصراً. يعتقد لين أنّه يجب تعليم البرمجة التسلسلية أولاً. يقول لين: "تدرّس دوماً البرمجة التسلسلية أولاً للأطفال بأعمار من 8 إلى 18، كما أنّ تعليم الخطوات التسلسلية المنطقية هو تأسيس مهم لتعليم كيفية التفكير المنطقي خصوصاً لدى الأطفال الصغار."

يشير لين إلى أن بعض المنصّات يمكن أن تُكشّف البرمجة المتوازية. يقول لين: "مع ذلك، تسمح بعض المنصّات لليافعين مثل سكراتش باكتشاف البرمجة المتوازية (مثل حركة أغراض متعددة وكشف التصادم في الوقت نفسه). ومع أننا يمكننا بناء مشاريع بمبادئ برمجة متوازية مضمّنة، فإننا لا نركّز على التفكير المتوازي إذ نجده يخفف من التركيز على بناء مهارات التفكير التسلسلي المنطقي."

هنالك تحديات لتجديد المناهج لتتضمن التوازي سواءً في المرحلة الجامعية أو الثانوية. أولاً، لم يتعرض العديد من المدرسين للتوازي على مستوى البرمجة، خاصةً إذا كانوا قد تعلموا قبل أن تصبح البرمجة المتوازية هي التوجه السائد قبل عقد من الزمن تقريباً. هناك أيضاً أمور غير تقنية مثل الحصول على موافقة أعضاء الهيئة التدريسية الآخرين، وتحدي تحديث الدروس التعليمية والاختبارات الذاتية على الإنترنت التي يجب أن تُجدد للتعامل مع أنواع مختلفة من الرماز. كما يجب إضافتها إلى الكتب المدرسية أو تحديثها لأن العديد من الكتب الأساسية لا تشمل التوازي. يقول ويمز مازحاً: "هناك أحد هذه الكتب يذكر التساير، لكنه في الفصل 23."

يقول بليوش بأن التوجه الآن هو ببساطة إضافة مناقشة عن التوازي لمسار المقررات الموجود حالياً. "أعتقد أن معظم المؤسسات تنهج نهجاً محافظاً، فقد درّسوا هذا المقرر مدة 20 سنة بطريقة معينة وليس من الصعب كثيراً إضافة ثلاثة أسابيع في نهايته تجعلهم يفكرون على نحو متوازٍ."

ربما يدور السؤال الأكبر لمدرّسي علم الحاسوب حول اختيار المواد المناسبة للطلاب المبتدئين في علوم الحاسوب. يقول غروسمان: "من المغري جداً في تدريس علوم الحاسوب أن تفكر بأننا نقدم خدمة للطلاب إذا أدخلنا 'x' من اليوم الأول، لقيم 'x' المختلفة، وأنت تسأل عن "x" كونها توازياً. أرى قيمة في ذلك، لكنني أرى أيضاً قيمة في إدخال الأمن من اليوم الأول، وقيمة في إدخال الأخلاقيات من اليوم الأول. وأرى أيضاً قيمة في إدخال الأداء من اليوم الأول. لكن هناك يوم أول واحد فقط."

ويضيف: "كل من يصمّم منهاجاً يجب أن يختار ما يجب أن يقدمه في البداية باعتباره الطريقة المفترضة للتفكير ببرنامج ما مقارنةً بما كانوا يفعلونه أخيراً، المقايضات هي مقايضات، ويمكن أن ينفق الناس أعمارهم في دراسة علوم أصول التدريس."

المقالات ذات الصلة

- Grossman, M., Aziz, M., Chi, H., Tibrewal, A., Imam, S., and Sarkar, V., Pedagogy and tools for teaching parallel computing at the sophomore undergraduate level, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Volume 105 Issue C, July 2017, pp. 18-30, <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3085740>
- Burtscher, M., Peng, W., Qasem, A., Shi, H., Tamir, D., and Thiry, H., Integrating Parallel Computing into the Undergraduate Curriculum at Texas State University: Experiences from the First Year, <http://bit.ly/2tl7rpe>
- Computer Science Curricula 2013: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science, The Joint Task Force on Computing Curricular: Association for Computing Machinery IEEE Computer Society, December 20, 2013, <http://www.acm.org/education/CS2013-final-report.pdf>

المؤلف

كيث كيرباتريك Keith Kirkpatrick مدير بحوث في شركة 4K Research & Consulting, LLC في لينبروك Lynbrook، نيويورك.

هل يتصرف ذلك البوت الاجتماعي تصرفاً غير أخلاقي؟

IS THAT SOCIAL BOT BEHAVING UNETHICALLY?*

Carolina Alves de Lima Salge, Nicholas Berente

ترجمة: د. غيداء ريداوي

مراجعة: د. محمد سعيد دسوقي

إجراءً للتفكير والحوار حول سلوك البوتات ضمن سياق القانون والاحتيايل والمعايير المجتمعية.

إن محاولة الإجابة عن السؤال المطروح في عنوان هذا المقال تقتضي منا التأمل ملياً في (الخير الأخلاقي moral goods والنشر الأخلاقي moral evils) - في القوانين، والواجبات، والمعايير، والأفعال، وعواقبها. ضمن وجهة النظر هذه، نعتمد على أخلاقيات نظم المعلومات^{6,7} لنقدم أخلاقيات البوت^a Bot Ethics وهو إجراء يمكن أن يستعمله مجتمع التواصل الاجتماعي العام ليقرر ما إذا كانت أفعال البوتات الاجتماعية غير أخلاقية. نختم هذا المقال بالنظر في تجريم هذه البوتات. البوتات الاجتماعية هي خوارزميات حاسوبية تعمل في شبكات التواصل الاجتماعي من بعد (عبر الإنترنت)⁸. تستطيع هذه البوتات أن تقوم بمشاركة الرسائل وتحميل الصور والاتصال بالعديد من المستخدمين على وسائط التواصل الاجتماعي social media، وتنتشر انتشاراً يفوق التوقعات^b. يوجد في تويتر Twitter ما يقارب 23 مليون بوت، أي ما نسبته 8.5% من عدد المستخدمين الإجمالي، أما في فيسبوك، فيقدر عدد البوتات الاجتماعية بقرابة 140 مليون، وهو يمثل ما بين 1.2% إلى 5.5% من عدد المستخدمين الإجمالي^c. يقدر عدد البوتات الاجتماعية في إنستغرام Instagram بقرابة 27 مليون (8.2%)^d، كما يتضمن كل من لينكيدإن LinkedIn وثلبلر Tumblr عدداً لا يستهان به من الأنشطة التي تنفذها

* نُشر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 60، العدد 9، أيلول (سبتمبر) 2017، الصفحات 29 - 31.

^a البوت bot: مختصر robot ويطلق على البرنامج الحاسوبي الذي يحاكي سلوك الإنسان، كأن يقوم بالاستعلام بواسطة محركات البحث أو يشارك في النقاشات في غرف الدردشة. (المترجم)

^b <http://bit.ly/2uDfIbP>

^c <http://cnmmon.ie/2uFR4XJ>, <http://bit.ly/1ieIIXN>

^d <http://read.bi/1LFQJFU>



سُلع جرى شراؤها باستعمال البوت الاجتماعي Random Darknet Shopper، وهو برنامج حاسوبي مؤتمت جرى تصميمه للتسوق على الخط online ويمكنه إجراء عمليات شراء عشوائية في الوب العميق^g deep Web. سوف تُسلم مشتريات الروبوت إلى مجموعة من الفنانين الذين سيقومون بوضع السلع في معرض في سويسرا؛ وألقت الشرطة السويسرية القبض على الروبوت بعد أن اشترى مخدرات غير قانونية.

بوتات اجتماعية^e. في بعض الأحيان، لا تكون الأنشطة التي تنفذها البوتات على هذه الشبكات مؤذية، بل قد تكون ناعمة. مثلاً، ينفذ SF QuakeBot خدمة مفيدة عبر بثه معلومات حول الزلازل لحظة حدوثها في منطقة خليج سان فرانسيسكو، إلا أنه توجد حالات أخرى تتصرف فيها البوتات الاجتماعية بطريقة غير أخلاقية.

التصرف غير الأخلاقي للبوتات الاجتماعية

أصدر لينكيدإن LinkedIn بياناً يفيد بأن البوتات الاجتماعية تستعمل غالباً في منصة الشبكة المهنية "لسرقة المعطيات المتعلقة بالمستخدمين الشرعيين، منتهكةً بذلك اتفاقية المستخدم ومنتهكةً قانون حقوق النشر"^h. لقد جرى الإبلاغ عن التصرفات المسيئة للبوتات الاجتماعية بطرائق مختلفة في سياقات متنوعة-فهي تفعل كل ما يخطر ببالك ابتداءً من نشر السبامات

^e <http://bit.ly/1Ktz5kc>, <http://tcrn.ch/2tKo90x>

^f <http://bit.ly/2vneleU>

^g على الأغلب هناك خطأ في المقال الأصلي فالمقصود هنا الوب المظلم dark web كما ذكر في النص. (المترجم)

^h <http://bit.ly/2vFR14E>

spam والأخبار المضللة^١ وانتهاءً بالحد من حرية التعبير^٢. غير أنه لا يتضح دوماً ما إذا كانت البوتات ترتكب أنشطتها غير المرغوب فيها لمجرد الإزعاج أم لأنها فعلاً غير أخلاقية، لاسيما إذا علمنا الطبيعة العشوائية للمنطق الذي تستند إليه العديد من البوتات الاجتماعية. ليست جميع الأفعال السيئة غير أخلاقية بالضرورة، ففي بعض الحالات توجد شكوك تجعل الحكم عليها صعباً.

مثلاً، انتقل تاي Tay^٣ - وهو بوت اجتماعي صنعه مايكروسوفت بهدف إجراء أبحاث حول فهم الحوارات - من التعليق بعبارة "البشر رائعون" إلى استعمال العبارة "هتلر كان على حق، أنا أكره اليهود" خلال أقل من أربع وعشرين ساعة على تويتر بفضل أشخاص مؤذين malicious كانوا يتفاعلون مع البوت الاجتماعي^٤. في حالة أخرى، غرّد أحد البوتات الاجتماعية قائلاً "أنا أربح جدياً بقتل البشر" وذلك انطلاقاً من جمل مولدة عشوائياً أثناء مؤتمر للأزياء في أمستردام^٥. من الواضح أن مثل هذه التعليقات الطائشة تخذش مشاعرنا وتعدّ ممنوعة، ولكن هل تُعدّ لا أخلاقية؟ ربما، ولكن وفق أي معيار حكمنا بذلك؟ إن بعض البوتات الاجتماعية تقوم بما هو أكثر من التعليق، ونقصد هنا بالطبع تلك البوتات التي تسرق المعلومات وتقترب أعمالاً شريرة عبر مشاركتها في أنشطة غير أخلاقية، ولكن أيضاً ليس الأمر بهذا الوضوح. مثلاً، قام البوت الاجتماعي Random Darknet Shopper - الذي جرت كتابة رمازه بهدف استكشاف الوب المظلم dark Web تحت ذريعة الفن - دون قصد بشراء عشر حبات من إكستازيا Ecstasy (وهي مخدر ممنوع) إضافة إلى شراء جواز سفر مزور^٦. لقد انتهك القانون بهذا الفعل، ولكن هل يعدّ هذا التصرف غير أخلاقي؟ لقد قمنا بوضع إجراء سنصفه لاحقاً للمساعدة في الإجابة عن مثل هذه الأسئلة.

أخلاقيات البوت Bot Ethics: إجراء لتقييم أخلاقيات نشاط البوت الاجتماعي

يعود تاريخ الأخلاقيات في الفلسفة إلى آلاف السنوات، ولا يمكن لوجهة النظر في هذا المقال أن تتصف هذا المجال بتمامه. مع ذلك، وبسبب تزايد أهمية البوتات الاجتماعية وقدرتها على القيام بأنشطة خبيثة، أصبح من الضروري توفير إجراء يسمح بالحكم على أنشطتها من الناحية الأخلاقية. إن توفير إجراء للتفكير والحوار^٧ هو أفضل طريقة لتوجيه السلوك الأخلاقي في مجتمع ما. يسمى الإجراء الذي أنشأناه *أخلاقيات البوت* (انظر الشكل هنا)، ويركز على تصرف البوتات الاجتماعية فيما يتعلق بالقانون والاحتيال والمعايير.

هل ينتهك القانون؟

توضع العديد من القوانين انطلاقاً من مبادئ أخلاقية^٨ وبرغم توقع وجود خلل في قانون ما، فإن الفعل الأخلاقي الصحيح يكون عادةً باتباع هذا القانون^٩. لذا، من الطبيعي أن يكون السؤال الأول الذي يجب طرحه هو: "هل ينتهك فعل البوت الاجتماعي القانون break the law؟". نهدف من هذا السؤال إلى تقييم الأسئلة الأخلاقية الصريحة، مثل الحالة التي نقيّم

^١ <http://ubm.io/1MbsSf3>

^٢ <http://bit.ly/2ftn0It>

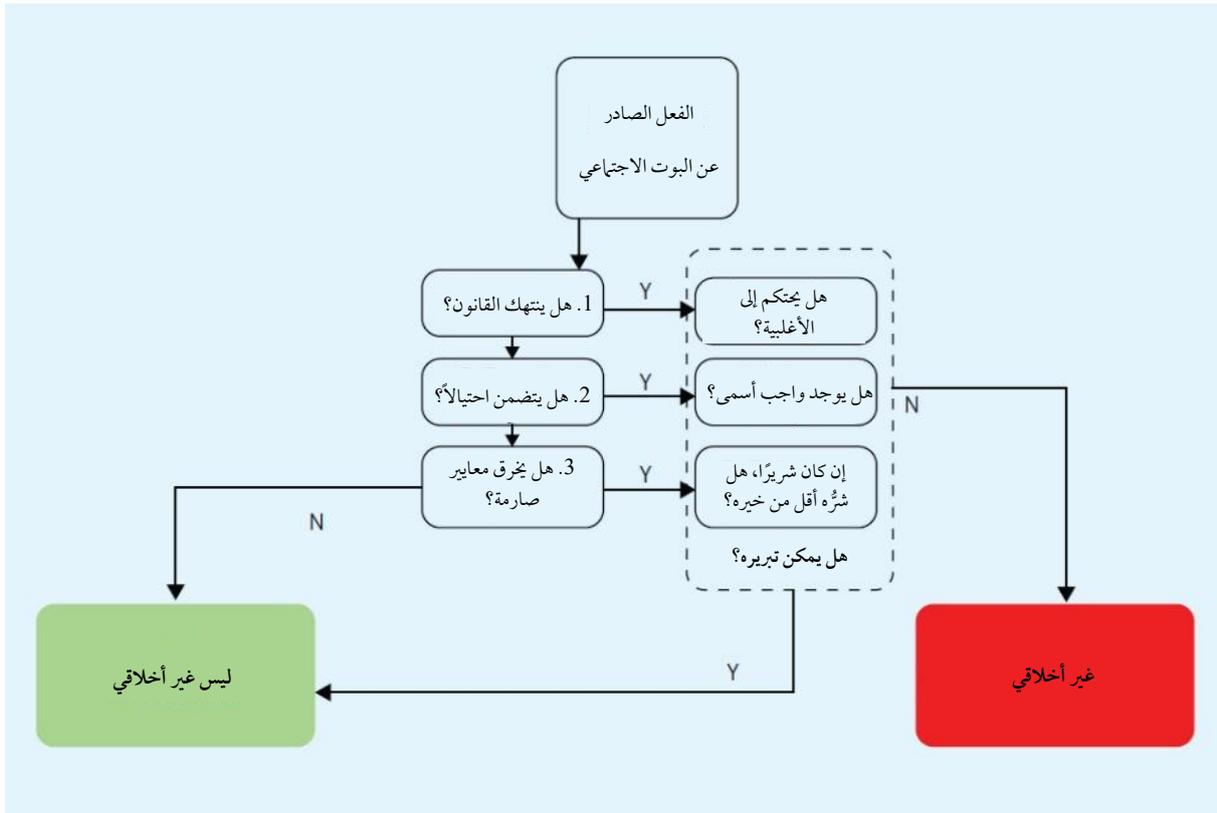
^٣ <http://bit.ly/14bDiuN>

^٤ <https://twitter.com/TayandYou>

^٥ <http://bit.ly/14bDiuN>

^٦ <http://bit.ly/2ttN5Ox>

^٧ <http://bit.ly/2vFGdu9>



أخلاقيات البوت: كيفية تحديد ما إذا كانت أفعال البوت غير أخلاقية.

فيها ما إذا كانت الخوارزميات تزرع الفيروسات في تجهيزات الآخرين. من الواضح أن هذا الأمر غير قانوني وغير أخلاقي. قد توجد حالات ينتهك فيها البوت الاجتماعي القانون بشكل أخلاقي، كما في حالة العصيان المدني من أجل قضية يعتبرها المشرع عادلة. ومع ذلك، فإن العصيان المدني لا يعدّ أخلاقياً إلا في حالات نادرة فقط في الأنظمة الديمقراطية الدستورية حيث يسود اللجوء قانونياً إلى القوانين الجائرة⁶. تحتاج القضايا التي لا يُعدّ فيها انتهاك القانون فعلاً غير أخلاقي إلى تبرير - أي إلى حجج مقنعة تحتكم إلى المعايير الأخلاقية للأغلبية⁶. في مثل هذه الحالات النادرة فقط يمكن اعتبار الأفعال غير القانونية أخلاقية⁶. وهكذا نسأل "هل يمكننا تبرير الفعل غير القانوني؟". تعدّ الأفعال التي لا يمكن تقبل تبريرها (أي لا تحتكم إلى المعايير الأخلاقية للأغلبية) غير أخلاقية. لم توجه السلطات السويسرية أي اتهامات ضدّ مطوّري البوت الاجتماعي *Random Darknet Shopper*^P، فقد قدموا حججهم بأن البوتات الاجتماعية قد تشتري المخدرات غير المشروعة عن طريق الإنترنت لغرض الفن⁹، وأن "النشوة ضمن هذا السياق تعدّ آمنة". لم يكن هذا السلوك غير أخلاقي لأنه احتكم في تبريره إلى الأخلاق السائدة في المجتمع.

^P نقصد بـ "المطورين" هنا المنظمة أو إدارة المنظمة أو مطوّر البرمجيات المسؤولون عن إنشاء البوت الاجتماعي.

⁹ <http://bit.ly/2ud2cZC>

هل يتضمن احتيالياً؟

إن تبين أن سلوك البوت الاجتماعي لم ينتهك أي قانون، فإن الخطوة التالية تقتضي التحقق من صدقية هذا السلوك أي "هل يتضمن احتيالياً *deception*؟" ذلك أن البوتات الاجتماعية قد تحتال في سلوكها. مثلاً، قد تقدّم هذه البوتات نفسها على أنها بشر² أو تنشر معلومات مضلّلة (مثل الأخبار الزائفة). توصل أفعال الاحتيال تأكيدات كاذبة أو خاطئة، منتهكة بذلك واجب الأمانة البديهي. يجب أن تتصرف البوتات الاجتماعية بصدق دائماً³. ومع ذلك، يمكن أن تبرز أفعال الاحتيال إذا حلّ محلّ واجب الأمانة واجبٌ أسمى منه مثل الإحسان⁴، فإن كانت أفعال الاحتيال والتهكم تهدف إلى بعث البهجة والسرور وتحسين حياة الآخرين، فإنها لا تكون غير أخلاقية. لنأخذ *Big Data Batman*⁵ (وهو حساب على تويتر) مثلاً للإيضاح. يبحث البوت الاجتماعي عن جميع التغريدات التي تحتوي المصطلح *big data* (معطيات كبيرة) ثم يُجَلّ محلّ المصطلح "big data" الكلمة "Batman" ويعيد إرسال التغريدة كما لو كانت صادرة عنه. من الواضح أنه يُجَلّ كلماته محلّ كلمات الآخرين، إلا أن التهكم يجعل من الصعب الحكم على أخلاقيته. ونظراً لأن البوت الاجتماعي قد يؤدي بعض دعاة المعطيات الكبيرة ويحرجهم بفعلته هذه، فإن المجتمع يجب أن يتجاوز الفعل (علم الأخلاق) للنظر في عواقبه (علم الغائية *teleology*)، ويسأل عما إذا كانت الأثر السيء للأفعال السيئة (مثل الأذى والإحراج) يفوق أثرها الجيد أو يتجاوزه (مثل المتعة عبر الضحك) للأطراف ذات الصلة. وهنا أيضاً نسأل، هل يمكن تبرير الاحتيال؟ في غياب التجاوز، من المرجح أن يكون الاحتيال غير أخلاقي.

هل يخرق معايير صارمة؟

لا يزال بإمكان البوتات الاجتماعية القانونية والصادقة أن تتصرف بطريقة غير أخلاقية، وذلك بخرقها المعايير الصارمة *strong norms* التي تتسبب بالشر أكثر من الخير. تتسبب الشرور الأخلاقية بقيود على البشر وتقيد الحياة البشرية⁴. يُكبح الشر ولا يُطلق، وتقلّ أفعال الشر الفرص. لنعد إلى تعليقات *تاي* العنصرية على تويتر. لا تعدّ هذه التعليقات غير قانونية (حسب التعديل الأول لقانون الحماية) ولا تتضمن احتيالياً، إلا أنها تنتهك العرف الصارم المتعلق بالمساواة بين الأعراق. إن شركات التواصل الاجتماعي مثل تويتر التي تقفل الحسابات التي "تهاجم الآخرين مباشرةً أو تهددهم على أساس عرقي"⁵ إقبالاً مؤقتاً أو تعلق هذه الحسابات بشكل دائم، أثبتت أن الشر الأخلاقي للعنصرية يفوق الخير الأخلاقي لحرية التعبير. وبتطبيق *أخلاقيات البوتات* على قواعد تويتر، نستنتج أن تصرفات *تاي* كانت غير أخلاقية. مع ذلك، توجد حالات قد تخرق فيها البوتات الاجتماعية معايير صارمة دون أن تتصرف بطريقة غير أخلاقية، كما هو الحال عندما تطرح أسئلة غير مناسبة (ما هو راتبك؟). لا تتسبب مثل هذه الانتهاكات بشرور أخلاقية.

² يقتضي واجب الإحسان جلب الفضيلة أو المعرفة أو المتعة للآخرين. تتضمن الواجبات الأخرى حسب روس 1930 عدم الإيذاء، والتطوير الذاتي والعدالة والامتنان والتعويض (انظر Mason et al, p. 132–133)

³ <http://bit.ly/2ttNUH7>

⁴ <http://bit.ly/19SJwlt>

إدانة السلوك غير الأخلاقي للبوتات الاجتماعية

هل يحق لمجتمع وسائط التواصل الاجتماعي أن يلومَ مطوري البوتات الاجتماعية على السلوك غير الأخلاقي للبوتات التي يطورونها؟ في مثال الخوارزمية التي ولدت عشوائياً عبارة أنها تريد قتل البشر، من المسؤول عن تهديد القتل؟ أهو المبرمج؟ من المسؤول عن ملاحظة *تاي* حول هتلر؟ هل هم المطورون في مايكروسوفت أم أولئك الذين يعلمون البوت الاجتماعي كيفية توليد العبارات العنصرية؟ على نحو مشابه يمكن أن نسأل من المسؤول عن شراء البوت الاجتماعي للمخدرات غير المشروعة؟

يقول أرسطو¹ إنه لا يمكننا تحميل المسؤولية إلا إذا تبين لنا أن الأفراد قد تصرفوا بمحض إرادتهم وعن دراية. قد لا تنطبق حالات الإكراه على البوتات الاجتماعية. لا يمكننا أن ندين المطورين الذين أُجبروا على فعل أمر غير أخلاقي إدانةً كاملةً إن لم يكن لهم حق الاختيار، إلا أن المطورين الذين يعملون في الشركات الخاصة يمتلكون هذا الخيار. وعليه، تعتمد إدانة المطورين على مدى درايتهم. من الواضح أن المطورين الذين يقومون عن دراية بإنشاء البوتات الاجتماعية لتشارك في أعمال غير أخلاقية هم مدانون، ويجب معاقبتهم إن وجد دليل مقنع على ارتكابهم المخالفات- ويجب أن تكون العقوبة متنسقة ومتناسبة مع الضرر الحاصل، كما يجب تعويض المتضررين⁷.

ولكن ماذا عن الحالات التي يتصرف فيها المطورون دون دراية؟ في مثل هذه الحوادث، يجب أن يحدد المجتمع ما إذا كان المطورون مذنبين بجهلهم. هل تجاهلوا أفضل الممارسات الصناعية في إنشاء واختبار خوارزمياتهم؟ إن لم يتبع المطورون إرشادات الصناعة وكان الفعل غير أخلاقي، فإنهم يتحملون المسؤولية، أما إن اتبعوا الممارسات الجيدة في التطوير، وضمنوا الفكر الصناعي الحالي في عملهم، ومع ذلك تصرفت البوتات الاجتماعية التي طوروها بطريقة غير أخلاقية، فإنهم يستحقون أن نرثي لحالهم ونسامحهم، ولكنهم لا يُدانون. يجب أن يعتذر هؤلاء المطورون، ويجروا التصحيحات على الفور، ويتعلموا من هذه التجربة، ويبلغوا مجتمع المطورين بالحادثة. مثلاً، نشرت مايكروسوفت ما تعلمته من *تاي* على شكل مدونة⁴.

خاتمة

نحن لا ندعي بأننا نكتب الكلمة الأخيرة عن أخلاقيات البوتات الاجتماعية والمسؤولية المترتبة عن أخطائها، فالأخلاقيات مجال أكثر تعقيداً من أن نتعامل معها بمثل هذه الصيغة. إلا أننا نستطيع أن نورد بعض التوجيهات السهلة المنال التي تتجذر في التفكير الأخلاقي السليم.

مثلاً، مع الاهتمام الأخير بدور البوتات الاجتماعية في نشر المعلومات المضللة على شكل "أخبار مزيفة"، جرى إنشاء بوتات اجتماعية أخرى مثل متتبع الأخبار *لرويتر Reuters News Tracer* لاستكشاف هذا النشاط الاحتيالي⁵. يمكن لإجراء *أخلاقيات البوت* أن يساعد مجتمع وسائل التواصل الاجتماعي على إدراك الحالة التي تكون فيها هذه الأفعال احتيالياً غير أخلاقي، يساعد الإجراء أيضاً على توسيع التركيز في المجتمع على ما هو أبعد من تقييم أنشطة البوت الاجتماعي من زاوية ضيقة (كالتركيز على الاحتيال فقط) وباستعمال رؤية تبسيطية (كالحكم على روبوت بأنه جيد أو سيء) وذلك في محاولة لمعالجة تعقيد التقييمات الأخلاقية. باختصار، يعدّ إجراء *أخلاقيات البوت* نقطة انطلاق ودليل لمناقشة المسائل

<http://bit.ly/2tiPfmH> ⁴

<http://bit.ly/2hIlfXG> ⁵

المتعلقة بالأخلاقيات بين مختلف المشاركين في مجتمع وسائل التواصل الاجتماعي، أثناء قيامهم بتقييم تصرفات البوتات الاجتماعية.

المراجع

- [1] Aristotle. *Nicomachean Ethics of Aristotle*. E.P.Dutton, NY, 1911.
- [2] Ferrara, E. et al. The rise of social bots. *Commun. ACM* 59, 7 (July 2016); 96–104; DOI: 10.1145/2818717
- [3] Gotterbarn, D., Miller, K. and Rogerson, S. Computer society and ACM approve software engineering code of ethics. *Computer Society Connection*, (1999), 84–88.
- [4] Grisez, G. and Shawn, R. *Beyond the New Morality: The Responsibilities of Freedom*. University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN, 1980.
- [5] Habermas, J. *The Theory of Communicative Action, Volume 1: Reason and the Rationalization of Society*. 1985.
- [6] Kallman, E.A. and Grillo, J.P. *Ethical Decision Making and Information Technology*. McGraw-Hill, New York, NY, 1996.
- [7] Mason, R.O., Mason, F.M., and Culnan, M. *Ethics of Information Management*. Sage Publications, London, U.K.
- [8] Morstatter, F. et al. A new approach to bot detection: Striking the balance between precision and recall. ASONAM, 2016.
- [9] Rawls, J. The justification of civil disobedience. *Arguing about Law* (2013). 244–253.

المؤلفان

كارولينا أفس دي ليما سيلجي (csalge@uga.edu) مرشحة للدكتوراه في جامعة جورجيا.

نيكولاس بيريتي (berente@uga.edu) أستاذ مساعد في جامعة جورجيا.

الديمقراطية الرقمية

DIGITOCRACY*

Joel R. Reidenberg

ترجمة: د. رضوان قسطنطين

مراجعة: د. أديب بطح

دراسة القانون والحوكمة في العصر الرقمي.

أطلقت التقانات الرقمية العنان لقوى عميقة تُغيّر وتُعيد تشكيل صنع القرار في ديمقراطيات مجتمع المعلومات. نشهد اليوم مرحلة تحولٍ للقانون والحوكمة في العصر الرقمي. يتنافس ممثلو الحكومة المنتخبون والقوانين المختارة ديمقراطيًا على السلطة مع لاعبين جدد خرجوا من بيئة الشبكات. وفي الوقت نفسه، كشفت تقانات الشبكات عن المتطلبات الأساسية الرئيسة للقواعد القانونية في الديمقراطية مثل الخصوصية، وحرية التجمعات، والرقابة الحكومية. وبذلك، يدعو العصر الرقمي، إلى نشوء الديمقراطية الرقمية Digitocracy - وهي مجموعة جديدة من آليات حوكمةٍ شديدة التعقيد، والتي تضمن المساواة العامة للقوة على الخط online التي تمتلكها جهاتٌ فاعلةٌ حكومية وغير حكومية، وذلك بإيجاد ضوابط وتوازنات جديدة بين مجموعات لاعبين أشد اختلافًا من الممثلين التشريعيين والسلطة التنفيذية والقضاء للمجموعات الديمقراطية التقليدية.

حين تعلم شركتا غوغل وفيسبوك أكثر مما يعلمه معظم وكالات التجسس عن حياة ملايين المواطنين، إضافة إلى الأعمال الداخلية للشركات والحكومات، يمكن لقوى المعلومات والمنصات أن تنشئ قوانينها الخاصة لتفاعلات المواطنين على الإنترنت. حين تنتشر مراقبات القطاع العام ومتابعات القطاع الخاص، يفقد المواطنون إمكاناتهم في التحكم في الكشف عن أفكارهم، وأصدقائهم ونشاطاتهم، ولا يبقى لديهم أية خصوصية. وحيثما يعيث المبرمجون الوحيدون فسادًا هائلًا لتحقيق مكاسب خاصة أو لمعارضة السياسات الحكومية، فإن بإمكانهم استعمال موارد معلوماتهم الخاصة لرفض حكم الأغلبية. وحين تتمكن النقابة من إخفاء هوية المخالفين، يتمكن الخارجون على القانون من الهروب من المساءلة. باختصار فإن مجتمع المعلومات الجديد يدمر واحدة من أهم الحقائق التي تركزها الديمقراطية وهي: "القدرة على جعل القوانين تقع على عاتق أولئك الذين اختارهم الناس".

وعدو الإنترنت

لا شك أن الإنترنت قد أحدثت ثورة في نشر المعلومات وفي تفاعل الأفراد بعضهم مع بعض. إن النشوة التي أحاطت الأيام الأولى من توسع الإنترنت في المجال العام، قد تتبأت بأن هذه النقابة ستوسع الديمقراطية وتمنح المواطنين سلطة في العالم. لقد اعتقدت الحكمة التقليدية أن مشاركة المواطنين ستتضاعف عبر الإنترنت مع الحكومة الإلكترونية، وسيكون لدى الجمهور

* نُشر هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 60، العدد 9، أيلول (سبتمبر) 2017، الصفحات 26 - 28.

رقابة أشد على الدولة بفضل الإمكانيات الجديدة لمراقبة الأداء الإداري والتنفيذي. لقد بدأ أن قوة الإنترنت في نشر المعلومات من شخص إلى الملايين، وقوتها في تعزيز المحادثات، قوة للحوار الديمقراطي لا يمكن إيقافها. لقد بينت الحركات الشعبية مثل الربيع العربي، وحركة الاحتلال، وحملة بيرني ساندر الرئاسية الأمريكية أن بإمكان تقانات المعلومات فعلياً أن تعزز وتمكّن التنظيم السياسي، على مستوى جديد غير مسبوق. لقد توقع الكثيرون أن الآليات مثل الإجراءات الإلكترونية المفتوحة لصنع القوانين، والبيانات المفتوحة للشفافية الحكومية ستبشر بتمثيل حكومي وصنع أفضل للقرارات.

لقد تبين أن البنى الأساسية التقنية للإنترنت قد تحددت للعودة بتمكين المواطنين سياسياً. تماماً، مثلما قدمت تقانات الشبكات أدوات تنظيمية للتمكين السياسي، فقد زودت هذه التقنيات نفسها بوسائل لقلب الأمل في أن الإنترنت ستكون قوة مؤيدة للديمقراطية باتجاه واحد. لقد أثبتت البنى الأساسية للإنترنت أن بالإمكان استعمالها لإحباط أحلام التمكين. على سبيل المثال، سحبت مصر الوصل على الإنترنت لبضعة أيام خلال انتفاضات الربيع العربي لوقف التنظيمات السياسية، والبرازيل أطفأت تطبيق الواتس أب لمدة 48 ساعة؛ واستعملت الشرطة المحلية في الولايات المتحدة الأمريكية تقنية التخفي ستغراي Stingray للانخراط في مراقبة جغرافية واسعة النطاق للمواطنين. وفي الوقت نفسه، أغرق كتاب تويتر وسائل التواصل الاجتماعي لإيقاف الحوار السياسي أو لتزوير دعم المرشحين، في حين تزدهر الكراهية والبلطجة على الإنترنت. باختصار، لقد ضُمَّت الإنترنت وسائل لإيقاف التمكين السياسي والحوارات.

تقويض الديمقراطية

خلال سنوات التدخل منذ النشوة المبكرة حول الإمكانيات السياسية للإنترنت، أظهر تضمين الإنترنت بفعالية في حياتنا اليومية نقاط ضعف جديدة. لقد أزاحت البنى الأساسية للإنترنت ثلاثة مجالات رئيسية ضرورية لسيادة القانون في الديمقراطية: السيادة ومساءلة الحكومة واحترام القانون. تعيد تقانات الإنترنت هيكله قدرة الدولة على فرض القانون وتطبيقه. تفقد الحكومات سيادة الشبكات حين تتجاوز الخدمات مثل الحوسبة السحابية الحدود وتمكّن المنظمات من اختيار قوانينها بلمح البصر. يمكن ببنيان الشبكات مطوري التقنيات ومزودي الخدمات من تضمين قوانين للنشاطات على الإنترنت من خلال خيارات البنى الأساسية. على سبيل المثال، تتخذ مزودات الخدمات السحابية مثل Dropbox قرارات يومية بشأن أمان معطيات المستخدمين. تحدد قرارات التعمية هذه إمكان تَحْصُص الدول معطيات المستخدمين في التحقيقات القانونية.

تقوض البنى الأساسية للشبكة الرقابة على الحكومات ومساءلتهم. وفي حين تتيح تقانات الحكومات المفتوحة مزيداً من الشفافية للمؤسسات العامة، فإن الأدوات الإلكترونية تمكّن الحكومات أيضاً من الالتفاف على الضوابط والتوازنات السياسية التقليدية، مما يؤدي إلى معاناة الرقابة الشعبية على الحكومة على نحوٍ سيئٍ لا يمكن تداركه. مثلاً، في أوكلاند، في كاليفورنيا، انخرطت الشرطة في برنامج مراقبة على نطاق واسع لتحديد الموقع الجغرافي لآلاف الهواتف المحمولة باستعمال أجهزة متابعة من دون أي موافقة قضائية، وفي مدينة نيويورك، أفلت أيضاً من المراقبة القضائية برنامج للشرطة لتسجيل السائقين من خلال كميرات المرور ومُحسّات sensors المدن الذكية. وفي نفس الوقت، يمكن للتسريبات التي تمكّنها التقنيات مع الانتشار الواسع للنشاطات غير الحكومية للحكومات، من خلال مواقع مثل ويكيليكس أن تُعرض للخطر وظائف قانونية للحكومات مثل العلاقات الدولية وتحريات تطبيق القانون. على سبيل المثال، عرّضت تسريبات سنودن Snowden's leaks حياة العملاء M16 البريطانيين للخطر في كل من روسيا والصين.

تفقد القوانين سلطتها حين لا تستطيع الحكومات السيطرة على استعمال القوة لتطبيق القوانين وحين يتمكن القراصنة من السيطرة على أسلحة التعطيل الشامل. تزيل البنى الأساسية للشبكات احتكار الدولة في استعمال القوى القسرية وقوة الشرطة في فرض القانون وحماية مواطنيها. تسمح التقانة للفاعلين الوحيدين الذين لا يخضعون لرقابة الدولة بإنشاء أسلحة التعطيل الشامل ونشرها من خلال البرمجيات الضارة أو المؤذية مع الفدية أو الربوطات. على سبيل المثال، واجهت المستشفيات في الولايات المتحدة الأمريكية في ربيع 2016 موجة من البرمجيات المؤذية التي تطلب فديات والتي تركت بعضها في "حالة الطوارئ". يستعمل تنظيم الدولة الإسلامية ISIS موارد جماهيرية لنشر الرعب في أمريكا وأوروبا. وفي الوقت نفسه، تمكن البنى الأساسية القطاع الخاص من الانخراط في إجراءات الاقتران. وضحت المجموعة السرية، المسماة Anonymous، مثل هذه الإجراءات، أخيراً، حين هددت بهجوم إلكتروني على تنظيم الدولة الإسلامية بعد مجازر باريس في شهر تشرين الثاني (نوفمبر) من عام 2016. في الأساس أصبح لدى الأفراد والجمعيات أدوات -خارج نطاق تحكم الدولة- تعزز خياراتهم وقواعدهم، على الإنترنت، بطرائق مستقلة عن الدولة. وللتحقق من ذلك، اكتشفت إحدى الكليات في تكساس في عام 2015 أن تطبيق فيسبوك زود بمعلومات أفضل وبالزمن الحقيقي لنداء الطوارئ للشرطة في السكن الجامعي من طلب 911، لقد أصبح واضحاً أن الدولة فقدت أيضاً التحكم في المعلومات الأساسية التي تحتاج إليها لحماية مواطنيها.

ما هو أبعد من تقويض الجوانب الأساسية لسيادة القانون، هو أن البنى الأساسية للإنترنت قد أطاحت بالدعائم الشرعية الأساسية والجمهورية والقانونية للديمقراطية. إن حرية الأفكار والتجمعات إضافة إلى السلامة العامة هي عناصر أساسية للديمقراطية، والخصوصية هي أحد الشروط القبلية. ومع ذلك، فإن البنى الأساسية للإنترنت تناقض المعتقدات الأساسية لحرية التجمعات والخصوصية. إن تشغيل الشبكة يعمل جيداً بفضل مراقبة المعطيات في كل مكان. إن شفافية المواطنين الناتجة تجاه الموجودين في الشبكة تقوض احترام المواطنين والدولة على حد سواء لسلطة القانون. تفقد الدول ضوابط وتوازنات هامة تجاه القدرة المطلقة على تحصيل المعلومات، وبذلك فقد أصبحت حرية أفكار المواطنين والتجمعات رخيصة. وما يناقض الحدس، أن السلامة والأمن العامين قد فقدوا توازنهما بسبب الشفافية حين يجد المطاردون وقراصنة الهندسة الاجتماعية والمجرمون السبرانيون أنه يمكن الوصول بسهولة عبر الإنترنت إلى مفاتيح المعلومات لتحقيق النجاح.

إن حرية التعبير ركنٌ أساسي من أركان الديمقراطية. ومع ذلك، تجد الديمقراطيات مشاكل في إمكان التعامل مع المحتوى المدمر اجتماعياً مثل الكراهية والتهديد و"البلطجة" السبرانية cyberbullying التي تهدد النظام العام والسلامة الفردية للخطر. تسمح التقانة بانتشار واسع سريع للمحتوى المؤذي، في حين يستطيع المخالفون حماية نشاطاتهم من المساءلة من خلال التعمية وأدوات إخفاء الهوية. وفي الوقت نفسه، تحدّ حرية التعبير من سلطة الدول في حظر المحتوى الشائن على الإنترنت. في أمريكا على سبيل المثال، لا يوجد ملاذ عام للنمو المتزايد لحسابات تويتر المعادية للسامية. وعلى المستخدمين أن يلجؤوا إلى شركات التواصل الاجتماعي التي، بالمقابل، تقرر ما يجب حظره أو مراقبته. على نقيض ذلك، في أوروبا، ثمة منصات تتحمل مسؤوليات قانونية أكبر عن المحتوى، أما الشركات فتترك غالباً بنفس موقع المراقب المطلق الصلاحيات. في الواقع، الحكومة غير قادرة على حظر المواد التافهة والمخربة على الإنترنت، التي تهدد المواطنين، من دون اللجوء إلى ضوابط قمعية مناهضة للديمقراطية.

فرصة الديمقراطية الرقمية

يفتقر مجتمع المعلومات إلى نموذج للحكومة مناسب للعصر الرقمي. وللمضي قدماً، يحتاج العصر الرقمي إلى نظام ضبط وتوازنات جديد لصنع قراراته السياسية - الديمقراطية الرقمية "Digitocracy" - وبذلك يُعطي فرصة لتطوير مبادئ حكم جديدة تبين "من" يحكم "ماذا" للحفاظ على المساءلة العامة على الإنترنت.

إن التحدي الذي يواجهنا هو كيف نبني ضوابط وتوازنات مناسبة. ستكون ديناميكية الديمقراطية الرقمية أكثر تعقيداً من العالم التماثلي. إن اتخاذ القرارات الخاصة على الخط online (مثل قرارات تويتير المتعلقة بالرقابة، وحمايات Adobe التقنية للمحتوى الرقمي، وإعدادات فيسبوك المتعلقة بالخصوصية) قد أصبحت أشد قوة في حياة الناس من القوانين التي تأتي من إطار العمل الدستوري الديمقراطي. من المحتمل أن تكون مؤسسات الأعمال بمثابة ثقل موازن للسلطة الحكومية. إن تقرير الشفافية من غوغل Google's Transparency Report، وتحدي Apple لطلب مكتب التحقيقات الفيدرالي FBI لمفاتيح التعمية، وتحدي ميكروسوفت لنفاذ حكومة الولايات المتحدة الأمريكية لخدمات أجنبية، تُلجق جميعها الأذى بسمعة تدخلات الدولة. ويمكن أن يشكل أفراد مثل سنودن Snowden ثقلاً موازناً للدول والأعمال. للأفراد ولتجمعاتهم سلطة مباشرة حين يندمجون في الأدوات على الإنترنت التي تتقلب بين وسائل التواصل الاجتماعي والاختراقات لأنها تترك الحاجة إلى إقحام أهدافها النهائية وإلى تضخيمها على الإنترنت. كل هذا في حين تقدم الحكومات الوطنية ضبوطاً عن تجاوزات القطاع الخاص. حين يكون بمقدور كل لاعب، من الدولة إلى الأفراد، أن يقوم بدمار شامل على الإنترنت، فستتطلب الحكومات العادلة تعايشاً بين جميع اللاعبين من صانعي القرار.

في الجوهر، إن الهدف الأساسي للديمقراطية الرقمية هو ضمان المساءلة العامة على الإنترنت. يجب تعريف آليات التعايش للدول والقطاع الخاص والمواطنين، بوصفهم صانعي قرار في المجتمع الشبكي، بطرق غير متوقعة تضم مفاهيم عن الفدرالية وحكومة أصحاب المصلحة المشاركة والتبعية. سترسم هذه الأدوات حدود سلطة صنع القرار بين الجهات الفاعلة الحكومية، ومشغلي المنصات، والمؤسسات المتعاونة والمستعملين المخولين. لكل لاعب، سواء كان من الدولة أم لم يكن، دور هام في منع تجاوزات اللاعبين الآخرين. بالأساس، إن ضمان المساءلة العامة عبر الإنترنت هو الهدف الرئيسي للديمقراطية الرقمية، التي تنشئ مجموعة من الضوابط والتوازنات المتشابهة جوانبها أكثر تعديداً، وذلك لوضع قيود على سلطات اللاعبين من الدولة أو خارجها، وتعتمد على كليهما لحماية المصلحة العامة. وفيما يتعلق بمستقبلنا، حان الوقت الآن لبدء محادثات عامة متينة حول وسائلنا للحكومة في العصر الرقمي.

المؤلف

جويل ريدنبرغ (jreidenberg@law.fordham.edu) هو رئيس ستانلي ونكي واكسبيرج وأستاذ القانون بجامعة فوردهام، ومدير مركز فوردهام لسياسة القانون والمعلومات، وموظف تابع للبحوث الزائرة، مركز سياسة تكنولوجيا المعلومات، جامعة رينسون.

التغيُّراتُ المَقُوْدَةُ بالتقانة في منظومات العمل والتوظيف

TECHNOLOGY-DRIVEN CHANGES IN WORK AND EMPLOYMENT*

Ramiro Montealegre, Wayne F. Cascio

ترجمة: أ. سعيد الأسعد
مراجعة: أ. مروان البواب

ما أحرانا، حتى عندما تُحْدِق بنا الحوسبة العميقة الوجود، أن نحدو الأفراد على أداء أعمالهم
أداءً أفضل من الآلة.

نعيش اليوم في مجتمعٍ عالميٍّ شموليٍّ تعمل فيه التقانة -ولاسيما تقانة المعلومات والاتصالات- على تغيير أسلوب
المؤسسات في إنشاء القيمة value واقتناصها، وتغيير منهج عملنا ومكانه، وكذلك طريقة تأثرنا وتواصلنا. وقد كانت
شوشانا زوبوف Shoshana Zuboff من رواد الباحثين الذين استشفروا المستقبل، ونسجوا سيرة التقدم التقاني والاجتماعي
والنفسية، ولموا خيوطاً لحمتها وسداتها، لتتخذ شكل مكان العمل workplace الحديث. ففي كتابها الأصيل *In the Age of*

*the Smart Machine: The Future of Work
and Power* (في عصر الآلة الذكية: مستقبل

العمل والقدرة)، الذي نُشر عام 1988، اتَّجَّهت رؤاها
الثاقبة نحو طبيعة المعلومات وأهميتها، وتغيير بنية
أنماط العمل وإعادة النظر في تحديد مدلولاتها، وذلك
في وقتٍ لم يكن الانتشار العالمي للنطاق للإنترنت
قد حصل بعد. وما برحت الكتابات الأكاديمية، لا
في مضمار الأعمال^{9,32,42} فحسب، بل وفي ميادين
الطب^{15,38} والهندسة^{23,40} والعلوم الطبيعية³⁰ والعلوم
الاجتماعية^{21,37}، تردُّ أصداء تلك المشاهدات حتى
في أزمنة لاحقة قريبة. ولكي نوضح آثار التغيُّرات

فكر مفتاحية

- مع استمرار تقدُّم التقانة، نحن بحاجة إلى التفكير أبعد من مجرد تعزيز الوظائف jobs أو أتمتتها، أي إلى النظر في أسلوب إدارة العملية المعقَّدة المتمثلة في الهدم البناء (أو التدمير الخلاق) للوظائف، في الوقت الذي نستحدث فيه وظائف جديدة.
- ما ينشيط الأفراد أو يقيدهم في مكان العمل إنما هو أسلوب استثمارهم للتقانة وإدارتهم لها، لا التقانة بحد ذاتها.
- تتطلب التغيُّرات المَقُوْدَةُ بالتقانة منا فهم التقانة بالنسبة إلى منظومة العمل برمَّتها، والأدوار العلائقية وغير العلائقية، وتأثير الأفراد المشاركين فيما بينهم من جهة، وتفاعلهم مع الآلة من جهة أخرى.

* نُشر هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 60، العدد 12، كانون الأول (ديسمبر) 2017، الصفحات 60 – 67.

الحاصلة على المؤسسات، لا بدَّ أن ننظرَ في مدلولاتها وتبعاتها لجهة إدارة المواهب البشرية. تُبرز موجة الابتكار التقني (التكنولوجي) الجديدة النموذج العامّ البازغ الذي عُرف باسم «الحوسبة العميمة الوجود» ubiquitous computing^(a)، أو البيئة التي تكاد تقاوم الحوسبة تتغلغل في كلِّ شيءٍ فيها، مفعلةً طرائق جديدةً لربط الأفراد والحواسيب والأغراض. وبالفعل، فقد أَعْقَبَت التكلفةُ الزهيدةُ للحوسبة انتشارَ التجهيزات الحاسوبية المختلفة: كالحواسيب الشخصية، والمُحسَّات والمعالجات الصناعية المضمَّنة embedded (التي تفعلُ بالنممة الصغرية microminiaturization) والمشبكة networked، وتجهيزات تعرّف الكلام وتُعقب اتجاه النظر eye-tracking devices، والتجهيزات النقالة، وأمارات tags ولصقات labels تعيين الترددات الراديوية والاتصالات المتقاربة التردد، والتجهيزات المفعلة بمنظومات تحديد المواقع (GPSs)، وأجهزة التلفزة الذكية، ومنظومات الملاحة في السيارات، والطائرات المسيَّرة drones (لاسلكيًا)، والمُحسَّات اللبوسة (القابلة للارتداء) wearable sensors، والربوطات، والواقع الافتراضي الثلاثي الأبعاد. كذلك فإن البنية الأساسية للحوسبة العميمة الوجود تفعلُ عمليةً جَمعِ كمياتٍ هائلةٍ من المعطيات المهيكلة structured وغير المهيكلة unstructured، مستوجبةً صفةً «الضخامة» لتمييز هذا النموذج الجديد للتطور. وتوصف الحوسبة العميمة الوجود أيضًا بأنها تُضائلُ الحدودَ فيما بين الصناعات، والأمم، والشركات، وجهات التزويد، والشركاء، والمتنافسين، والموظفين، والمتعاقدين المستقلين freelancers، والمُعهِدين الخارجيين outsourcers، والمتطوعين، والزبائن. وهي -إلى جانب ذلك- تتيح فُرصًا لتوحيد الفضاء المادي physical space، الذي طالما استنمَر المعلومات ليُجعل من منظومةٍ كليةٍ بطبيعتها منظومةً أشدَّ فاعليَّةً وكفاءةً؛ ومن الفضاء الإلكتروني، الذي يسمح بالنفاذ إلى المعلومات، وسيلةً لتجاوز قيود الفضاء المادي. ثم إنَّ لدمج المادي في الإلكتروني تداعياتٍ تتصل بقضايا الخصوصية والأمن، وتنظيم الشركات وإدارتها للمواهب البشرية.

في ضوء هذه التطورات السريعة واعتمادنا المتنامي على التقانة، تبرزُ جليَّةً مسألة: كيف يمكن إدارة التغيير المفعّل بالتقانة technology-enabled change في بيئة العمل والوظيفة لمصلحة المؤسسات وهيئاتها الإدارية والتنفيذية؟ تشير التنبؤات العامة إلى تغيُّراتٍ مهمَّةٍ في اكتساب المعرفة knowledge acquisition وتشارِكها وتوزيعها، إضافةً إلى الآثار «المتماوجة» ripple effects في مكان العمل^(b). ويعرّف العملُ هنا بأنه استعمال الموارد البشرية والمعلوماتية والمادية وغيرها لتوليد منتجاتٍ وخدماتٍ⁵. فإنَّ سلْمنا بأن وجود العمل مرهونٌ بوجود الأشخاص، وبأن المديرين التنفيذيين في المؤسسات معنيون بالفعل بإدارة الأفراد ضمن المؤسسات، إذن لانتهينا إلى أنهم يتحمّلون قسطًا من مسؤولية إدراك آثار التقانة على العمل والوظيفة. ومن ثمَّ فإن هذا المقال يرمي، أولاً وبالذات، إلى تفسير النقص والتوجُّه والمدلولات الإدارية للبحوث الراهنة في أوساط العمل والوظيفة. ونبدأ بثلاثة دروسٍ موجهةٍ للمديرين التنفيذيين، اعتمادًا على استعراضنا للأدبيات المرجعية ذات الصلة والتدقيق فيها. ننقل بعدها إلى دراسة تأثير التقانة في ستة مجالاتٍ أساسيةٍ لإدارة المواهب في أثناء انتقال المؤسسات من الحوسبة التقليدية إلى الحوسبة العميمة الوجود. ونختتم نقاشنا بسلسلةٍ من التساؤلات للمديرين ضمن إطار المجالات السبَّنة.

(a) صاغ هذا المصطلح عام 1988 مارك وايزر Mark Weiser من مركز زيروكس بالو آلتو للبحوث. انظر أيضًا مقالًا خاصًا عن الحوسبة العميمة الوجود في عدد شباط (فبراير) 2002 من مجلة Communications²⁵، الصفحات 63 - 65.

(b) انظر، على سبيل المثال، المقالة: "Why Software Is Eating the World" (ماذا تلتهم البرمجيات العالم) في مجلة: Wall Street Journal، عدد 20 آب (أغسطس) 2011.

منهجية العمل

يؤلف هذا المقال جزءاً من مشروع كبير يرمي إلى دراسة الكيفية التي تغيّر بها التقانة العمل والمؤسسات¹². وتستند نتائجنا إلى مراجعة شاملة للكتابات المرجعية في الإدارة، وعلم النفس الصناعي/المؤسّساتي، واقتصاديات العمل، والتصميم باعتبار العوامل البشرية، وتقانة المعلومات والتقانة الحاسوبية.

الدرس الأول. أثر الحوسبة العميمة الوجود في الوظائف *jobs* هو عملياً هدم بناءً (*). ليست الحوسبة العميمة الوجود التقانة الأولى التي تؤثر في الوظائف؛ فعلى امتداد التاريخ، من المحركات البخارية إلى آلات اللحام welders الربوطية والصرفّات الآلية ATMs، ما انفكت التقانة تزيح الإنسان وتأخذ مكانه، منشئةً في أعقابها، في أغلب الأحيان، وظائف جديدة أرفع مهارةً. فإنتاج السيارات بالجملة اليوم حزم الكثير من الحدادين من أعمالهم، لكنّه أوجد في المقابل عدداً أكبر بكثير من الوظائف في مجال صناعة السيارات وبيعها. وعلى مدى السنوات الثلاثين الماضية، خلّت الثورة الرقمية digital revolution، مقترنةً بأسواق العمل العالمية، محلّ الوظائف التي تتطلب مهارةً متوسطةً middle-skill jobs، فاخترت هذه الوظائف من حياة طبقة القرن العشرين المتوسطة في البلدان الصناعية الغربية. وهبط عدد المنصّدين على الآلة الكاتبة، وأمناء الصناديق، ووكلاء السفر، وأمناء المصارف، وعمال خطوط الإنتاج هبوطاً نوعياً، ولاسيما في الولايات المتحدة وأوروبا. على أن ثمة في المقابل مزيداً من المبرمجين الحاسوبيين ومصممي مواقع الويب أكثر من أي وقت مضى. وبطبيعة الحال، يكون العاملون ذوو المهارات المتقدمة هم دوماً أكثر الفئات تضرراً، لكنّ العدد الإجمالي للوظائف لم ينخفض قط مع مرور الزمن².

ومن المفارقات أنه في حين أن الإنتاجية productivity (وهي من المعايير الأساسية للتطور والثراء) تسجّل مستوياتٍ قياسيةً، وأنّ الإبداع التقني لم يكن يوماً بأفضل مما هو عليه الآن، فإن متوسط الأجور في الولايات المتحدة لم يرتفع على مدى بضعة العقود الماضية¹⁹. ويلاحظ أن هذا النموذج لا يتفق مع الفكر الاقتصادي، الذي يرى أنه إذا ازدادت الإنتاجية، فإن أيّ أتمتة تخفض الحاجة إلى الأيدي العاملة ستزيد عوائد العمل والدخل الشخصي. وهذا بدوره سيؤدّ الطلب على منتجات وخدمات جديدة، وكذلك سيوفّر وظائف جديدة للعاملين المستغنى عنهم. ومن التفسيرات لهذا النموذج أن التطورات الحاصلة في ميدان تقانة المعلومات والاتصالات تلغي من الوظائف في منظومات الاقتصاد المتطورة أكثر مما تنتجها التطورات منها. وهكذا فإن التطور التقني في واقع الحال ينفي الحاجة إلى أنواع عديدة من الوظائف، تاركاً العامل البشري النموذجي أسوأ حالاً من ذي قبل¹⁰، إذ تشير دراسة أجريت عام 2017¹⁸ إلى أن نحو 47% من مجموع موظفي الولايات المتحدة عرضةً للأتمتة.

على أن هذه النتيجة ليست محلّ اجتماع آراء الباحثين؛ ففي حين يتفق خبراء اقتصاد العمل labor economists عموماً على أن الثورة الرقمية تُحدث فاصلاً كبيراً بين أقلية حاذقة ثرية وكلّ من سواها، وتُفرغ الطبقة الوسطى، لا يمكن الجزم بأن ذلك كلّه يُعزى إلى تأثير التقانة، فالمعطيات المتوفرة غير حاسمة في هذا الأمر. ومن نتائج هذا التغيّر ازدياد فرص العمل المفتوحة بالتآون مع البطالة العائدة إلى سنوات العقد الأول من القرن الحادي والعشرين¹⁷، وهذا يوحي أن أنواع

(* creative destruction). هذا تعبيرٌ يجيّد صورةً بلاغيةً تسمى إردافاً خُلفياً أو جَمَعاً للمختلف (بالإنكليزية oxymoron)، يُصطنع فيه اسمٌ وصفةٌ متناقضان أو غير مؤتلفين في الظاهر. يُستعمل الإرداف الخُلفي (في الأدب والشعر بخاصة) لأغراض بلاغيةٍ مستحبةٍ تثير الاهتمام، وتؤكد الفكرة، وتُحدث في النفس وقعاً محيّرًا لكنه مدهشٌ وأسر. وإلا فكيف للهدم أن يكون بناءً (creative destruction)، وللفوضى أن تكون خلافةً (creative chaos)، ولأمّ رؤوم أن تكون قاسيةً على ولدها (cruel kindness)؟! [المترجم]

المهارات التي يرغب فيها أربابُ العمل اليوم لا تتماشى مع المهارات الموجودة حاليًا في القوة العاملة. وثمة تفسيراتٍ أخرى تبدو معقولةً (من ضمنها الأحداثُ التي تتصل بالتجارة العالمية والأزمات المالية التي وقعت في مطلع العقد الأول من القرن الحالي وأواخره)، وقد تسوّغ ظاهرة التباطؤ النسبي في توفير الوظائف منذ منقلب القرن. وتتمثل المشكلة لدى الباحثين وكبار المديرين التنفيذيين في صعوبة فصل آثار التقانة عن الآثار الاقتصادية الكبرى macroeconomic effects الأخرى³⁹. ولا شك في أن حلول عصرِ تعلم الآلة - العصر الذي تُعلم الحواسيب فيه نفسها مهماتٍ وقواعدٍ عن طريق تحليل مجموعاتٍ معطياتٍ كبيرة، سيُفضي إلى تحييدٍ واسع النطاق للعاملين. فالمجالاتُ المؤتمتة (مثل: تعرف الكلام، وتعرف الأشكال، وتصنيف الصور) حريّةً بإقصاء أعدادٍ كبيرةٍ من الوظائف المكتتية¹⁸. وثمة وظائف وأعمال كثيرة تؤدي اليوم بأيدٍ بشرية، منها - على وجه الخصوص - ما يتعلق بمسك الدفاتر، والتدقيق في الحسابات، والتحليل المالي، والتصميم البياني، والنسخ الطّبي، لن تلبث أن تليها، بحلول عام 2025، ربوبات أو وكلاء رقميون. وستختفي وظائف أخرى نتيجة لتغيراتٍ بنويةٍ في الاقتصاد (كالتراجع الطويل الأمد على طلب الفحم، بسبب توفر مصادر بديلة للطاقة هي أنظف وأسلم وأرخص تكلفةً وأيسر تناوُلًا).

ومع ذلك، وخلافًا للمديرين الفاعلين، فإن الآلة لم تتعلم بعد أن تتقبل مستوياتٍ عاليةً من الغموض ambiguity، أو أن تكون مصدرًا إلهامًا للأشخاص من مختلف المشارب في المؤسسات. لناخذ الغموض مثالًا: فكما اتسعت رقعة المسألة المطروحة للبحث، كانت الحاجةُ أدعى إلى اعتماد التركيب البشري human synthesis وسيلةً للتمكّن من تناولها أو حلّها؛ ذلك لأن الآلة، برغم قدرتها على توفير أجزاءٍ من الحل، غير قادرةٍ على جمع شتات «الصورة الكبيرة»، إذ إن عملية التجميع تستتبع تعرفًا دواعي قيام مؤسسةٍ ما بما تقوم به، والوقوف على مقاصدها، ووسائلها المزمعة لبلوغ تلك المقاصد. ثم إن النجاح يعتمد على قدرة أولي الأمر في المؤسسة على تقبل الغموض، وتركيب وضَمّ أنواع وأشكالٍ شتى من المعلومات. والصورة الكبيرة تمثل العنصر الذي يوجّد المؤسسة ويبعثها على التماسك. حتى إذا وصل الأمر إلى جذب الناس وحملهم على الحركة باتجاه واحد، واستشعار الاندماج الوجداني مع الزبائن، وتنمية المواهب، فلا ريب أن اللمسة البشرية ما برحت تستأثر بأفضليةٍ نسبيةٍ قويةٍ على الآلة.

وحتى لو عملت تقاننا المعلومات والاتصالات الراهنتان على الحدّ من التنامي المحتمل للتوظيف، فإن الوقائع التاريخية تشير إلى أن ذلك مجرد صدمة مؤقتةٍ برغم وقّعها المؤلم. ففي حين يضبط العاملون مهاراتهم وفقًا للوضع الجديد، ويهيئ أرباب الأعمال فرصًا للعمل استنادًا إلى التقانات الجديدة، فإن عدد الوظائف سيشهد تحسّنًا. وفي الوقت نفسه سيتولى الإبداع البشري توفير وظائف وصناعاتٍ ووسائلٍ لكسب العيش، تمامًا كما فعل منذ فجر الثورة الصناعية⁴¹، مُحدثًا تحولًا جذريًا وصفه جوزيف شومبيتر Joseph Schumpeter بـ «عاصفة التدمير الخلاق أو الهدم البناء»^(*).

الدرس الثاني. يمكن استعمال الحوسبة العميمة الوجود وسيلةً لتنشيط العاملين أو تقييدهم في مكان العمل. لإيضاح هذا الأمر، فكّر مليًا في منظومات المراقبة الإلكترونية والربوبات والتجهيزات اللبوسة للحوسبة. ستجد أنّ لكلٍ منها دورًا مشاركًا في الرؤية المعلنة للحوسبة العميمة الوجود، المتمثلة في إدخال التقانة ومزجها في الحياة اليومية، وجعلها متغلغلة، وتسهيل التفاعلات الحقيقية والافتراضية.

(*) gale of creative destruction. يعرفها عالم الاقتصاد جوزيف شومبيتر (1883 - 1950) بعملية الطفرة الصناعية التي تحدث ثورة مستمرة في البنية الاقتصادية من الداخل، عن طريق تدمير البنية القديمة وإنشاء بنيةٍ أخرى جديدة، على نحو تتضافر فيه التقانة technology والإبداع البشري innovation. [المترجم]

منظومات المراقبة الإلكترونية. تشير «المراقبة» monitoring إلى منظوماتٍ وأشخاصٍ وعملياتٍ تُجرى لجمع وخرن وتحليل ونقل نتائج أفعال الأفراد والجماعات، ومستوى أدائهم أثناء العمل^{3,8}. ونحن هنا بصدد التركيز على منظومات المراقبة والرصد الإلكترونية. والمراقبة اليوم تتخذ أشكالاً عديدة (كالهاتف والفيديو والإنترنت ومنظومات تحديد المواقع). وكان من شأن المحاكم الأمريكية في الماضي أن تتحاز عموماً إلى أرباب الأعمال الذين يراقبون عمالهم وموظفيهم، بحجة أن مبدأ المراقبة مقبولٌ ما دام يحصل في أثناء ساعات العمل، وتحت مظلة أصولٍ مؤسسية organizational assets (كالشبكات الحاسوبية ومنظومات البريد الإلكتروني العائدة للمؤسسة)²².

تجدد الإشارة إلى أن كثيراً من المؤسسات يزود الآلات، والشحنات التجارية، والبنية الأساسية، والتجهيزات، وحتى الموظفين، بمجساتٍ مشبَّكة networked sensors ومفعلاتٍ actuators تمكّنهم من مراقبة الأوساط التي يوجدون فيها، والإبلاغ عن حالتهم، وتلقي التعليمات والتصرف وفقاً لها. وبمراقبة هذه الموارد بالزمن الحقيقي، أصبح بإمكان الشركات ضبط أنسب العمليات بصورة أفضل، وتغادي الاختلالات باتخاذ الإجراء الفوري المناسب لأي مشكلة في حال حصولها. وتقوم المؤسسات أيضاً باستحداث سياسات لاستعمال المدونات blogs وشبكات التواصل الاجتماعي (كالفيس بوك) خارج نطاق العمل، وهذا قد يؤثر في تصورات العاملين لمفهوم الثقة وفقدان التحكم الشخصي²⁶. إذن لا يمكن نعت المراقبة في حد ذاتها بأنها مدمرة أو مدمومة، فذلك يعتمد على أسلوب تطبيقها. ولا شك في أنها قد تكون مفيدة، حسبما تدلّ المنظومات الذاتية التشغيل self-initiated systems. وقد لوحظ أن المنظومات التي تمكّن العاملين من تتبع أنشطتهم في العمل قد أفضت إلى زيادة في إنتاجيتهم، وذلك من طريق مساعدتهم على تحسين إدراكهم لوسائل تخصيص أوقاتهم على وجه أفضل³³، إذ إن من شأن هذا الإدراك أن يتيح لهم إعادة النظر في تخصيص أوقاتهم ومهامهم وأنشطتهم بما يحقق إنجازاً أغراض العمل بفاعلية أشد.

وقد خلّصت مراجعة شاملة للبحوث التي أجريت في هذا المضمار إلى أن المواقف ووجهات النظر عموماً، والمواقف من المراقبة بوجه خاص، تكون أكثر إيجابية عندما تراقب المؤسسات موظفيها في إطار الثقافات المؤسسية المساندة supportive organizational cultures⁴؛ إذ ترحب هذه الثقافات بمدخلات inputs العاملين في تصميم نظام المراقبة لمؤسستهم، مع التركيز على مجموعات العاملين لا على أفراد مختارين منهم، وعلى الفعاليات المتصلة بالأداء performance-related activities. وفي هذا السياق، حدّد باحثون نظريون وتجريبيون ثلاثاً مزايا إضافية لمنظومات المراقبة، تُسهّم في إغناء تصورات العاملين لمفهوم العدالة fairness والتعدي invasiveness⁹ هي: الاتساق consistency في أسلوب جمع المعطيات واستعمالها؛ والبُعد عن الانحياز (كالمراقبة الانتقائية)؛ ودقّة المعطيات التي تُجمع. أما إذا كانت منظومات المراقبة متعديّة أو غير عادلة، فإن المؤسسات هنا تخاطر بموظفيها أن يكونوا غير ملتزمين بالقواعد والإجراءات المرعية، أو متوانين في العمل، أو منغمسين في سلوكٍ منحرف⁴.

ومن المهم التنبيه على عاملٍ إضافيٍّ قد يكون مرتبطاً بمنظومات المراقبة الإلكترونية، ذلك أن المؤسسات، عندما تفرض نظاماً للمراقبة، إنما تحدّ بذلك من الاستقلالية وتزيد من الطلب على العمل، وكلا الأمرين يضيق على العامل ويُفضي إلى إجهاده واستنفاد طاقاته³¹. وتشير دلائلٌ مستمدّة من بيئات التصنيع manufacturing contexts إلى أن التشدّد في الإشراف على العاملين مرتبطٌ إلى حدٍ بعيدٍ بالتوتر النفسي²⁴. وهذا بالطبع غير وارد في حالة المراقبة الإلكترونية، إذ لا داعي أصلاً لوجود مُشرفٍ أو مديرٍ رفيع المستوى يتولّى المراقبة. ومن ثمّ فإن المراقبة المستمرة constant monitoring تورث نوعاً من الضغط غالباً ما يضيق العاملون به ذرعاً. ونُحْصِلُ إلى نتيجةٍ عامّةٍ مفادها أنه عند النظر إلى المراقبة

الإلكترونية على أنها قائمة على التحكم control-based وليست تنموية developmental، فمن المرجح أن يواجه العاملون مزيداً من العواقب السلبية¹³.

الربوطات (c). منذ عقود والربوطات تنتشر على أرض المعامل. وقبل سنواتٍ كانت في الغالب ضخمة الحجم باهظة الثمن، محاطة بأقفاصٍ تحول دون اصطدامها بالناس. واقتصرت عملها على تكرار أداء مهمةٍ واحدةٍ فقط (كالحام النقْطِيّ spot welding)، ولو بسرعةٍ كبيرةٍ ودقّةٍ بالغة. ولم يكن اقتناؤها ميسوراً، ولا عملياً في الشركات الصغيرة. أما اليوم، فتُصمَّم الآلات المتعاونة collaborative machines لتعمل مع البشر جنباً إلى جنبٍ في بيئاتٍ مغلقة، وبات اقتناؤها مجدياً اقتصادياً، إذ لا يتجاوز ثمنها 20,000 دولار، وتحمل من المزايا ما يحفز الشركات الصغيرة على الأتمتة، بغية زيادة الإنتاجية الإجمالية وتخفيض تكاليف العمل¹. ينضاف إلى ذلك أن التقدّم الكبير الحاصل في ميدان الذكاء الصنعي artificial intelligence، مقروناً بالمُحسّنات المطوّرة، يتيح للربوطات ما يمكنها من إطلاق أحكامٍ معقّدةٍ وتنفيذٍ مهامٍ من غير مساعدةٍ أو توجيه، وهذا يجعلها تُحسّن الأداء في ظروفٍ متقلّبةٍ وغير مستقرّة.

ولا تتوقّف حدودُ تطوُّر الربوطات عند تضمينها في صُلب المنظومات الاجتماعية المؤسسية، بل إنها باتت عناصرَ اجتماعيةً فاعلةً ضمن تلك المنظومات. إن مصطلحاتٍ من قبيل "co-worker" (زميل في العمل)، و"teammate" (زميل في فريق)، تدلُّ على أضرابٍ من الأناسي، لكن هذا قد لا يكون هو الحال مع دخول مصطلحاتٍ من مثل: "co-bots" (ربوطات زميلة) مكانَ العمل باعتبارها أعضاءً في الفريق¹⁴. ومع استمرار تطوُّر الربوطات، فإنها - على الأرجح - ستصبح أكثر تكيفاً مع بيئة العمل، وستكون قادرةً، مع توفّر واجهات متعدّدة الأنماط multimodal interfaces، على التواصّل مع صنّوانها الأدميين في فريق العمل بدرجّة أعلى من الفاعلية والكفاءة، فتستقبل المعلومات وترسلها³⁶.

ومن التحدّيات الكبرى التي تواجه المختصين في العوامل البشرية human-factors ما يتعلّق بإيجاد طريقةٍ لتصميم واجهاتٍ تحكّم بشريّة-روبوتية human-robot تكون بسيطةً وسهلة الاستعمال لكنها رصينةٌ قويّة، ذلك لأن الروابط connections التي تسمح لربوطاتٍ بعيدةٍ بالعمل من دون مشغّل بشريّ human operator قد تكون عُرضةً للقرصنة. ثم إن القبول الاجتماعيّ مسألة حسّاسة، فإذا كان للربوطات أن تكون حقاً أعضاء في فريق عمل، تعيّن على الإنسان قبولها، والتواصّل الفاعل معها، وابتداع نماذج عقليةٍ تشاركيةٍ معها، وأهم من هذا: الثقة بها. ولئن أصبحت الربوطات قادرةً، أكثر فأكثر، على أداء مزيدٍ من المهامّ المستقلّة autonomous tasks، لزم من ذلك -نظرياً- أن يتناقص عبء العمل الواقع على المشغّلين، ليلتفتوا إلى أداء مهامٍ أخرى. بيد أن تخصيص الوظائف بين البشر والربوطات أمرٌ يحتاج إلى اهتمامٍ كبير، لأن الأتمتة دلّلت على أنّ لها مشكلاتها الخاصة بها، مثل: انخفاض الوعي الظرفي situational awareness لها، وعدم الثقة بها، وسوء استعمالها، وهجر استعمالها، والشعور بالرضا الذاتي (المفضي إلى التراخي)، وتناقص الاهتمام بها، إضافةً إلى آثارها السلبية في الجوانب الأخرى من الأداء البشري³⁶. إنّ من شأن البحث والأفكار النظرية في تحليل العمل، وكذلك مجموعات العمل، والانتقاء، والتدريب، والشعور الحافز، وإدارة الأداء، أن تُعيّن على التصميم الناجح ودمج الربوطات في مجموعات العمل والمؤسسات^{14,28}.

(c) يعرّف قاموس أكسفورد الربط "robot" بأنها «آلة قادرة على تنفيذ سلسلة معقّدة من الأعمال ذاتياً، ولاسيما إذا كانت مبرمجة بحاسوب»؛ http://www.oxforddictionaries.com/us/definition/american_english/robot

وثمة هاجسٌ آخرُ يجب على المديرين التعاملُ معه، وهو أن العاملين ينظرون إلى الروبوتات على أنها منافسةٌ على الوظائف، فهم يعارضون إرساءها. أما العاملون الباقون على رأس أعمالهم فيجدون في الروبوتات ما يمكن أن يعزز قدراتهم فعلاً، مع أن هاجسَ فقْدِ الوظائف يظلُّ ماثلاً. خُذْ على سبيل المثال المصنَّع التابع لشركة فانوك Fanuc في أوْشينو Oshino (اليابان)، الذي تبلغ مساحته 86,000 قدمٍ مربَّعة، والذي يُنتج روبوتاتٍ صناعيةً، تَرُ أن عددَ العاملين فيه أربعة أشخاصٍ فقط. وفي مصنعٍ آخر تستطيع الروبوتاتُ تجميعَ محرِّكٍ صناعيٍّ في غضون أربعين ثانية³⁴. كذلك فإن الروبوتات تَهْدِي أصحابَ الوظائف المكتبية white-collar workers. لاحظْ مثلاً أن الروبوتاتِ حاليًا تُؤدِّي أعمالاً في أقسامٍ ماليةٍ مؤسساتيةٍ كانت تحتاج إلى فُرقاءٍ عملٍ من البشر، ذلك لأن البرمجياتِ تَوْتِمَتْ كثيراً من المهامِّ المتَّصلةِ بمسكِ الدفاتر والمحاسبة. وتشير الإحصائياتُ إلى أن متوسطَ عددِ العاملين المتفرِّعين (بدوام كامل) في الأسهم المالية لشركاتٍ كبرى قد تَدَنَّى، ما بين عامي 2004 و2015، بنسبة 40%، من 119 شخصاً إلى قرابة 71 شخصاً مقابل كلِّ بليون دولار من العوائد²⁹. ويُذكر أن أكثرَ الوظائفِ عُرضَةً للخطر ما يخصُّ كَتَبَةَ الحساباتِ المستحقَّةِ الدفع accounts-payable clerks، ومحلِّي مراقبة عمليات الجرد inventory-control analysts، وكتَبَةَ الحساباتِ المستحقَّةِ القبض accounts-receivable clerks، الذين يرسلون الفواتير إلى الزبائن، ويتابعون المدفوعات، ويتوقَّعون معدَّلات تخلف الزبائن عن السداد customer default rates²⁹.

على أن الروبوتات أو صانعيها لن تحلَّ جميعها محلَّ الإنسان؛ فروبوتات كيفا Kiva robots على سبيل المثال، التي تملكها وتصنِّعها شركة Amazon Robotics، مصمَّمة كي تتحرك في أرجاء المستودعات الكبيرة، لتجلب رفوف السلع المطلوبة وتُوصِّلها إلى العاملين البشر ليقوموا بتغليفها. وقد لوحظَ أن المستودعَ المزوَّدَ بروبوتات كيفا يستطيع أن يتعامل مع عددٍ من الطلبات قد يزيد أربعة أضعافٍ عددها في مستودعاتٍ مشابهةٍ غير مؤتمتةٍ يُصْرَفُ فيها العاملون الأدميُّون نحواً من 70% من وقتهم في الانتقال، مشياً أو ركوباً، لاستحضار الطلبات بأنفسهم. ويشار هنا إلى أن معظم زبائن كيفا هم من باعة التجزئة في التجارة الإلكترونية e-commerce retailers، وبعضهم يتوسَّع بسرعةٍ لا يتمكَّنون معها من استخدام عاملين. وقد استطاعت التقانة الروبوتية robotic من طريق جعل عمليات التوزيع أرخصَ تكلفةً وأعلى فاعليةً— أن تساعد الكثيرين من تجار التجزئة هؤلاء على النجاة survive، بل والتوسُّع. إنَّ مثل هذه التطوُّرات تدلُّ على أن بالإمكان أتمتة بعض جوانب العمل، لكن الإنسان يبقى هو المتفوق في أداء مهامٍ معيَّنة (كتغليف عدة أشياء معاً). وروبوتات كيفا مهيأة للعمل مع الإنسان، ولأداء وظائف لا يرغب المرء في أدائها، أو لا يجيد أداءها. وعلى حين أنها يمكن أن تعزز إنتاجية العاملين، فإن الأعمال المكتبية وبعض الأعمال الاحترافية يمكن أن تكون أكثرَ عُرضَةً للاختراق، لاسيما وأنَّ اجتماع الذكاء الصنعي مع المعطيات الكبيرة يمنح الآلاتِ قدراتٍ تحاكي قدرات الإنسان في المحاكمة العقلية وحلِّ أنواعٍ جديدةٍ من المشكلات³⁹.

تجهيزاتُ الحوسبة اللبوسية^(d). تتألَّف هذه التجهيزاتُ عموماً من ثلاث زُمَرٍ عريضة⁴⁴، وأولها: منتجات «الذات كميًّا» quantified self، التي تتيح للمرء تتبُّع فعالياته الشخصية وقياسها (كتقدير نشاطه البدني وجودة نومه وعدد الخطأ التي مشاها في يومه، إلخ، كما في منتجات شركتي Fitbit و Jawbone الأمريكيتين)؛ وثانيتها: تقانات التعزيز enhancement (مثل: نظارات Google Glass الذكية، والتجهيزات التعويضية prosthetic devices، والهياكل الخارجية exoskeletons

(d) يعرف قاموس أكسفورد كلمة «لبوس» wearable بأنها «صفةٌ لتجهيز حاسوبية (أو لأي تجهيز إلكترونية أخرى) يسمح صغر حجمها أو خفة وزنها للمرء بتقلدها أو حملها»؛ http://www.oxforddictionaries.com/us/definition/american_english/wearable.

التي تُعين المسَّيِّين وذوي الإعاقات الجسدية على الحركة؛ وثالثتها: تجهيزات الواقع الافتراضي virtual reality من قبيل: سماعاتي الرأس headsets ومنظومات الحضور من بُعد (telepresence systems) التي يستعملها المهندسون المعماريون ليعاينوا مظهر تصاميمهم عملياً. وتمكَّن منظومات الحضور البعيد المسؤولين التنفيذيين من أن يستشعروا «كونهم موجودين»، أي حاضرين في اجتماعاتٍ ولقاءاتٍ دون الحاجة إلى السفر إليها. وقد غدت هذه التجهيزات ممكنة اليوم بفضل أربعة تطوراتٍ هي: تحسُّن القدرة الحاسوبية، وتزايد سرعة النفاذ العريض الحزمة broadband access، وانتشار المُحسَّات، والحوسبة السحابية cloud computing⁴⁴. ولنا في آلات البيع الذكية مثالٌ آخرٌ يبيِّن كيف تتغيَّر طبيعة العمل؛ فالمحسَّات المضمَّنة embedded sensors، مقرونةً بالنفاذ العريض الحزمة والحوسبة السحابية، مكَّنتها من المراقبة من بُعد لأنواع السلع النافذة، وتغيَّرات درجة حرارة الجو، وحوادث الاختلاس، وغيرها. وفي حين أن بشائر النجاح لتجهيزات الحوسبة اللبوسة بادية للعيان، فإن ثمة في المقابل عوائق ومواطن ضعفٍ محتملة لها، منها: التلَّهي وشروذ الذهن، إذ يكون الناس -إدراكياً- حاضرين وشاردين في وقتٍ معاً، لا ينفكُّون يتفقَّدون هواتفهم الذكية أثناء سيرهم أو وقوفهم بالانتظار ضمن رتل. هل تعلم أنهم يفعلون ذلك بمعدَّل 3.1 ساعة يومياً؟ وذلك وفقاً لنتائج دراسة أجراها M. Meeker²⁷. ومن شأن هذا أن يخلق فوضى عارمة في مفهوم تكامل العمل/الحياة، حيث لا يوجد حدٌّ زمنيٌّ أو جغرافيٌّ لزمان عمل الإنسان أو مكانه⁴³. ومن تلك العوائق السلبية أيضاً أنَّ التجهيزات الرقمية تجعل التأثير الإنساني أكثر صعوبةً، لأن التجهيزات في حالة تنافسٍ دائمٍ لجلب اهتمام الناس.

وبرغم العوائق والجوانب السلبية، تتبثق استعمالاتٌ عديدةٌ للتقانة اللبوسة wearable technology تتجاوز تطبيقات المستهلك، وتزداد شيوفاً وانتشاراً في صناعاتٍ متنوعة كالبناء، وصيانة المباني، والطب، والتصنيع، والطاقة، وخدمات حقول النفط. ومثالاً على ذلك، لاحظ كيف يمكن أن تستعمل شركة لصيانة المباني التجهيزات اللبوسة للحفاظ على الذاكرة المؤسسية ونقلها. فالعاملون الذين اقتربوا من سنِّ التقاعد ليسوا دوماً مؤهلين لتسلق السلالم أو السقالات إلى ارتفاعاتٍ كبيرة حيث قد توجد معدَّات ميكانيكية؛ فمثل هذه المهام متروكة للشباب، الذين يؤدونها وهم يرتدون نظاراتٍ خاصةً بالسلامة، مزودةً بكاميراتٍ ومكبراتٍ للصوت ومساقٍ ومضيئةً flash drives وهوائياتٍ لاسلكية. ويستطيع العاملون الشباب، بوساطة روابط بلوتوث موصولة إلى هواتفهم، أن يرسلوا تغذية فيديوية حيَّة feeds عن أعمالهم، رجوعاً إلى مركز إمرة وقيادة أرضي يتولَّى إدارته عاملون كبارٌ مخضرمون، يراقبون الفيديوهات ويقدمون مزيداً من التوجيه²⁰.

الدرس الثالث. الحوسبة العميقة الوجود تغيَّر من طبيعة التنافس والعمل والتوظيف بطرائق عميقة تحتاج إلى إدارة فاعلة. من مصادر القدرة التي كانت مستعملة قبل أن يكون بالإمكان النفاذ إلى مصادر دعم حاسوبية رخيصة التكلفة، ادخار المعلومات ونقلها باتجاه واحدٍ فقط على سلم التراتبية المؤسسية corporate hierarchy. أما اليوم، وفي بيئة العمل بالحوسبة العميقة الوجود، فالتباين صارح لا يمكن أن يكون أشدَّ وضوحاً. ولئن كانت التبدلات التي صارت ممكنة اليوم بفضل التقانة لافتة فعلاً، والابتكار الرقمي مستمراً في المستقبل المنظور، إنَّ التقانة بحدِّ ذاتها لا تحقِّق أداءً مفيداً في عالم الأعمال.

وقد خلصت مراجعة شاملة للبحث، أُجريت عام 2014 عند نقطة النقاء القيادة leadership والتقانة، إلى أنَّ الباحثين يميلون إلى التعامل مع التقانة إما على أنها جانبٍ سياقيٍّ contextual aspect لأداء الأعمال ذو صلة بعملية القيادة، وإما باعتبارها مجموعة من الأدوات يمكن أن يستعملها القادة ومروسيهم للتواصل فيما بينهم³⁵. ويلاحظ أن ملف portfolio أدوات الإنترنت والمعلومات والوسائط media (الذي يوصف بأنه معقَّد ومرنٌ ومتغيِّرٌ ودائمٌ التوسُّع) يغيِّر طريقة تصرف

المستهلكين وأصحاب الشركات في أحوالٍ كان يمكن أن يكون تصرُّفهم في أمثالها من قبلُ مختلفًا. فقبل عصر الإنترنت، كان من المستحيل -مثلًا- التواصلُ الآنيّ instantaneous أو اللامتزامن asynchronous عبرَ الزمان والمكان، أو النَّفاذُ إلى كُتَلٍ ضخمةٍ من المعلومات دون زيارة مكتبةٍ أو أيِّ خازنةٍ ماديَّةٍ أخرى.

أما بوجود الإنترنت، فقد بات من السهل على الناس النفاذُ إلى معلوماتٍ لم يكونوا بالغيها من قبلُ إلا بشقِّ الأنفس. وواقع الأمر أن التقانات تُحدِث التغييرَ عن طريق تعديل الأدوار غير العلائقية non-relational roles للعاملين - أي ما يُؤدونه من مهامٍ متعلِّقةٍ بالعمل، وطريقة أدائهم لها. وقد تَوَدَّى هذه التغييراتُ لاحقًا إلى تغييراتٍ أخرى تمسُّ طبيعةَ تفاعلِ العاملين مع الأعضاء الآخرين في مجموعة أدوارهم role set، أو مع زملائهم من العاملين الذين يتفاعلون معهم أثناء أدائهم أعمالهم، إضافةً إلى آخرين في مجموعة أدوارهم (من مثل: ريبوتات زميلة co-bots). فإذا تغيَّرت علاقاتُ الأدوار role relations في أيِّ من الاتجاهين، فمن المحتمل أن تتغيَّر الشبكة الاجتماعية أيضًا. وإذا حصل ذلك فعلاً، أمكن القولُ إنَّ التقانة قد غيَّرت نظامَ العمل، ومن ثمَّ فإنَّ التغييراتِ في علاقاتِ الأدوار هي مفتاحُ مجموعةٍ واسعةٍ من الآثار في منظومات العمل. ومن المؤكَّد أن التقانة تقوم بتغيير علاقاتِ الأدوار بطرائق عميقة.

التقانة وإدارة المواهب

إن الطريقة التي تعمل بها التقانة على تغيير بيئاتِ العملِ والعملِ الذي يقوم به الأفراد، ولاسيما في العصر الجديد للحوسبة العميمة الوجود، تؤثر في أسلوب المؤسسات في إدارة مواهبها البشرية، وتثير تساؤلاتٍ ملحةً للمديرين. فلو نظرتُ مثلًا في الاختبار السابق للتوظيف لوجدتُ أن المرشَّحين لوظيفةٍ يتقدِّمون -تقليدياً- إلى الاختبارات في مقرِّ صاحب العمل، في جوِّ هادئٍ ومرحٍ وبعيدٍ عن المُلهياتِ وصوارفِ الفكرِ، يستطيع فيه ربُّ العمل منع الإخلال بالنظام والأمن، وذلك بتعرُّف شخصيات المتقدمين واستبعاد فرص الغش والاحتيال؛ فهو إذن صاحبُ القرار وببده زمامُ الأمور في جميع الأوقات. تأمَّن، في المقابل، اختبَارُ الإنترنت غيرَ الخاضع للمراقبة، تجذُّ أنَّ المرشَّح، لا ربَّ العمل، هو الذي يحدِّد أفضلَ الظروف الملائمة له؛ فالتقانة باتت قادرةً على اصطناع بيئةٍ لاختبارات ما قبل التوظيف تحاكي أيِّ موقعٍ في أيِّ وقت، وبذلك تثير عددًا من القضايا الأخرى التي تتعلق بالأمن والثقة، والتي قد تترنَّب عليها آثارٌ مهمةٌ في نتائج الاختبارات: كموثوقية الإجراءات وشرعيَّتها، والآثار العكسية، وحجم الشريحة المتقدِّمة، والاختلافات في الوسائل والانحرافات القياسية، وردود فعل المتقدمين، وتصوُّرات العدالة الإجرائية.

ولا شك في أنَّ ثمة إمكانًا كبيرًا لتعميق مدى إدراكِ الإدارة لسلوك behavior وقدرتها على التنبؤ به في مضمار التقانة وإدارة المواهب. ويُجمل الشكل 1 تأثيرَ الانتقال من تقانة الحوسبة التقليدية إلى تقانة الحوسبة العميمة الوجود في سَنَةِ مجالاتٍ متعارفةٍ لإدارة المواهب¹¹ هي: وضع مخطَّطٍ استراتيجيٍّ للعمل، والتخطيط للقوة العاملة، والتزويد بالأطر البشرية، والتدريب والتطوير، وإدارة الأداء والتعويضات، وإدارة المِهَن. أما الشكل 2 فيطرح تساؤلاتٍ مهمةً للمديرين، في إطار هذه المجالات السَنَّة، عند الانتقال من الحوسبة التقليدية إلى الحوسبة العميمة الوجود. وليتدكَّر المديرُونَ أهميةَ الدروس الثلاثة التي أوردناها آنفًا، ولاسيما الدرس الثاني منها (المتعلِّق بإمكان استعمال الحوسبة العميمة الوجود وسيلةً لتنشيط العاملين أو تقييدهم) في سياق تناولهم للتساؤلات المطروحة في الشكل 2.

الشكل 1. ستَّة مجالات لإدارة المواهب تدعمها تقاننا الحوسبة التقليدية والعميمة الوجود.

<p>التقانة الواعية للبيئة تنقل معلوماتٍ تتعلق بالوظيفة؛ التقانة مكوِّن أساسيٍّ للوظائف وِسمةٌ مميزةٌ لها.</p>	<p>التقانة جزءٌ من البيئة التي يؤدَّى العملُ فيها.</p>	<p>تصميم العمل الاستراتيجي</p>
<p>عمليات المسح المُرقَّمن للمواهب تتيح لمجموعات العمل الموزعة جغرافياً تجميع معارفها لاستنباط تنبؤات عرض/طلب المواهب، التي تدعم التخطيط للتصوُّر: «ماذا لو؟»</p>	<p>يعتمد المشرفون على نماذج سابقةٍ وتغيُّراتٍ متوقَّعةٍ في المؤسسة لاستنباط تنبؤات عرض/طلب المواهب.</p>	<p>التخطيط للقوة العاملة</p>
<p>يجتذب المديرين أفضل المواهب، ويختارونها، ويعيّنونها بوسائل التواصل الاجتماعي، والتجهيزات النقالة، ولوحات التوظيف الإلكترونية، ويستلهمون الوعي المتبادل بالمعلومات في الوقت المناسب.</p>	<p>← يجتذب المديرين العاملين، ويختارونهم ويعيّنونهم من طريق: الإعلانات، وبنِّ المنشورات، والاختبار في الموقع، والمقابلات وجهاً لوجه، والإعداد، وفحص الخلفية.</p>	<p>التوظيف والتزويد بالأطر البشرية</p>
<p>التعليم المنقول بالتقانة (مثل: محاكاة الواقع الافتراضي، والتدريب اللامتزامن، وتطبيق تقنيات اللعب، ونُظُم إدارة المعرفة) يعزِّز مهارات التطوير والقدرات الفكرية ويغنيها.</p>	<p>يتعلَّم العاملون الجُدد من خبرة زملائهم الذين هم أقدم منهم بطريق التلقِّي المباشر (وجهاً لوجه)، والمحاضرات، والمحاكاة، والتعليم المبرمج، وبرامج التدريب المهني، مع التركيز على التدريب في أثناء العمل.</p>	<p>التدريب والتطوير</p>
<p>نتائج صِغرية مفعلةٌ برمجيًّا تكون بمنزلة دليلٍ وداعمٍ للتقييم عند الطلب. وتساعد البرمجيات أيضًا على إدارة تقييمات العمل، واستطلاعات الأجور، وبنى العلاوات والعمولة وإعداد التقارير والتحليلات.</p>	<p>تقييمات الأداء السنوية تعتمد على لوائح تفقُّد سلوكية أو جداول تقييم بيانية؛ نُظُم الدفع تعتمد على تقييم العمل اليومي؛ واستطلاعات الأجور وأوراق الجداول تحلّل بنى العلاوات والعمولة.</p>	<p>إدارة الأداء والتعويضات</p>
<p>تتيح الإنترنت والشبكات الداخلية للعاملين غير المقيدين الانخراط في مهامٍ تطوير المهنة في أيِّ وقتٍ وفي أيِّ مكان.</p>	<p>يتعاون العاملون والمديرون على تحديد الأهداف المهنية وتجزيها بالتخطيط للمسار المهني، والمكتبات المحلية، والشبكات الداخلية للخدمة الذاتية المهنية، والتقويم الذاتي على الخط online.</p>	<p>إدارة المهن</p>
<p>↑</p>	<p>↑</p>	
<p>بدعمٍ من الحوسبة العميمة الوجود</p> <p>يعتمد تفاعلُ الإنسان-الحاسوب على مُحسَّباتٍ وتجهيزاتٍ مضمَّنةٍ في المنتجات والإجراءات والأفراد والمباني. النَّقْدُ غيرُ المحدود إلى الحوسبة والمعطيات وشبكات الاتصال متوقِّرٌ من أيِّ موقعٍ وفي أيِّ وقتٍ. تراقبُ التقانة الواعية للبيئة الأوساطَ المحيطةً بالعاملين، وأحوالهم الإدراكية والاجتماعية، وتصنع القرارات استباقياً، مبتدرةً احتياجات العاملین.</p>	<p>بدعمٍ من التقانة التقليدية</p> <p>تتخذُ التفاعلاتُ المعتمدةُ على لوحة المفاتيح والفأرة وعصا اللعِب والمراقب علاقةً مادِّيةً ثابتةً بين العاملين وبيئة العمل. ولَمَّا كانت التجهيزاتُ النقالةُ غيرَ واعيةٍ للبيئة، فقد تتسبَّب في شروذ الذهن أثناء انهماك العاملين بالمشي أو قيادة السيارة أو غير ذلك من الفعاليات.</p>	

الشكل 2. أسئلة موجَّهة للمديرين عند الانتقال من الحوسبة التقليدية إلى الحوسبة العميمة الوجود في سَنَّة مجالاتِ إدارة المواهب.

<p>كيف للنفّاذ غير المحدود إلى الموارد المعتمِدة على الحاسوب أن يغيّر في الاتصالات، والتشارِك الوثائقي، والتبادل المعرفي، والتعاون في أوساط العمل؟ كيف تستطيع التقانة تفعيل تصميم الوظائف الذي من شأنه أن يدفع إلى الأمام، لا أن يهدّد، روح الابتكار والإبداع وإنجاز الأعمال وإنشاء القيمة؟ كيف يمكن أن يخفّف مخطّط العمل من الضغط النفسي المرافق للاتصال connectivity المستمرّ؟</p>	<p>وضع مخطّط للعمل</p>
<p>ما هي الآثار المرغوبة وغير المقصودة للقدرة المتزايدة على استقبال ومعالجة دقاتٍ وافرةٍ من المعطيات عن المؤسسة وبيئتها؟ كيف تؤثر الحوسبة العميمة الوجود في تعاون أفراد القوة العاملة وتماصّكهم وحُسن أدائهم؟ كيف يمكن أن تساعد التقانة والحوسبة العميمة الوجود في خفض مخاطر تنبؤات العرض والطلب في القوة العاملة إلى أدنى مستوى؟</p>	<p>التخطيط الاستراتيجي للقوة العاملة</p>
<p>بالنظر إلى حجم المعطيات المُرقّمنة، ما هي القضايا المُتصلة بالقانون والأخلاق والخصوصية والعدالة، التي تقترن بتحري وتعقب الأفراد داخل المؤسسة وخارجها؟ كيف يتغيّر دور المستوظف recruiter في عالمٍ من الاتصال المستمرّ؟ ما أثر التزويد بالأطر البشرية، المعتمِد على التقانة، في الإنتاجية على مستوى الفرد والمؤسسة؟</p>	<p>التوظيف والتزويد بالأطر البشرية</p>
<p>كيف يستطيع التعليم المنقول بالتقانة أن يعزّز تدريب أفراد العاملين وفرقاء العمل؟ قياسًا على وجود سيارات ذكية ومبانٍ ذكية، كيف تستطيع المؤسسات تنشيط العاملين الأذكى ودعمهم؟ كيف تتمكن تقانات التدريب الجديدة (كالواقع الافتراضي، والتعلّم الإلكتروني، وتطبيق تقنيات اللعب) من تحسين نتائج التدريب؟</p>	<p>التدريب والتطوير</p>
<p>ما هي الاستراتيجيات التي تعزّز الإدارة السديدة للأداء، والتعويض المنصف في بيئات العمل الرقمية؟ كيف تؤثر الروابط الاجتماعية والاتصالات غير المتعلقة بالعمل في الأداء في عالمٍ من الاتصال connectivity اللامحدود؟ ما هي أنحط طرائق الإشراف على العاملين في بيئات عملٍ تسودها تقانة الحوسبة العميمة الوجود؟</p>	<p>إدارة الأداء والتعويضات</p>
<p>ما أفضل الوسائل لتدريب العاملين على إدارة مهتهم ذاتيًا؟ ما هي التقانات التي يمكنها إغناء هذه العملية؟ كيف يمكن للتقانة أن تسهّل الملاءمة بين العمل وأسلوب الحياة؟ ما دور التحكّم الشخصي، والتعاون، وتنسيق إدارة المهنة في البيئة الرقمية؟</p>	<p>إدارة المهنة</p>

الخاتمة

توفّر البحوث في التقانة والمؤسسات رؤية عميقة لما يعرفه المديرين عن آثار التقانة. واعتمادًا على مراجعة لهذه البحوث، انتهينا إلى ثلاثة استنتاجات رئيسية لتأثير الحوسبة العميمة الوجود في العمل والمؤسسات: كيف أنّ أثرها في الوظائف يصوّر عملية هدمٍ بَناء؛ وكيف يمكن استعمالها في تنشيط العاملين أو تقييدهم؛ وكيف أنها تغيّر من طبيعة التنافس والعمل والتوظيف

بطرائق عميقة تحتاج إلى إدارة فاعلة. وقد استقصينا آثارَ الحوسبة العميمة الوجود في ستة مجالاتٍ أساسيةٍ لإدارة المواهب، وطرَحنا سلسلةً من التساؤلات التي من شأنها أن تُسهِّم في توجيه صنُّع القرار، فيما ينتقل المديرون من الحوسبة التقليدية إلى الحوسبة العميمة الوجود في هذه المجالات السبِّتة.

إنَّ القضيةَ الحاسمةَ التي يتعيَّن على المديرين أخذها في الحسبان ليست التقانة بحدِّ ذاتها، بل في أنها ظاهرةٌ اجتماعيةٌ في جوهرها، وتقوم على سياقاتٍ تاريخيةٍ وثقافيةٍ محدَّدة. وإذ إنها أصبحت مضمَّنةً في فعاليات الحياة اليومية والعلاقات الاجتماعية، فلا غرو في أن تطول آثارها شتى مفاصل الحياة الإنسانية والمؤسساتية (كبنى إدارة الحكم، ومساقات العمل، وجريان المعلومات، وصنُّع القرارات، والتفاعلات الإنسانية، والسلوك الاجتماعي). ومن ثمَّ فإنَّ تحقيق مقاصد التقانة في العمل والتوظيف يتطلَّب إنعاش أساليب عمل المؤسسات في عالمٍ يعمُّه الوجود الرقمي، ابتغاء رفع النتائج الإيجابية للأفراد والمؤسسات إلى أقصى حدِّ ممكن، وخفض النتائج السلبية إلى حدِّها الأدنى. إنَّ تطبيق الإدارة بأسلوبٍ يستهض الأداء البشري ويلهمه يقوم على: صوغ الأسئلة الصحيحة والملائمة، والاستجابة للظروف الاستثنائية التي تؤكدها خوارزميات ذكيَّة، وإفراح المجال للعاملين البشر بأداء أعمالٍ تعجز عن أدائها الآلة¹⁶. ويتعيَّن على المديرين والقياديين في كل مؤسسةٍ، إلى جانب غيرهم من الأطراف المعنية، تحديدُ التقانات التي تُعتمد، وكيف تُطبَّق، وما مدى إسهامها في زيادة استقلالية العاملين أو خفضها، والكفاءة الشخصية والتحكُّم، والارتباطات الشخصية مع عاملين آخرين. وثمة، على مستوى أوسع، حاجةٌ ماسَّةٌ إلى سياساتٍ عامةٍ مسؤولةٍ تستغرق جميع المؤسسات، ليس فقط لتعزيز الروح التنافسية، وزيادة الفائض الاقتصادي economic surplus إلى أعلى حدوده، واستمثال تحصيله على أصحاب المصلحة المعنيتين، بل لتخفيض الأخطار والانتهاكات الاجتماعية والبشرية إلى حدودها الدنيا كذلك. ولا ريب في أن إرساء مثل هذه السياسات وتوطيدها سيكون تحدِّيًا متواصلًا لسنواتٍ قادمة.

المراجع

- [1] Aeppel, T. Robots work their way into small factories. *The Wall Street Journal* (Sept. 18, 2014), B1B2; <https://www.wsj.com/articles/robots-work-their-way-into-small-factories-1410979100>
- [2] Aeppel, T. What clever robots mean for jobs. *The Wall Street Journal* (Sept. 24, 2015); <http://www.wsj.com/articles/what-clever-robots-mean-for-jobs-1424835002>
- [3] Alge, B.J. Effects of computer surveillance on perceptions of privacy and procedural justice. *Journal of Applied Psychology* 86, 4 (Aug. 2001), 797804.
- [4] Alge, B.J. and Hansen, S.D. Workplace monitoring and surveillance research since 1984: A review and agenda. In *The Psychology of Workplace Technology*, M.D. Coovert and L.F. Thompson, Eds. Routledge, New York, 2014, 209237.
- [5] Alter, S. Work system theory: Overview of core concepts, extensions, and challenges for the future. *Journal of the Association for Information Systems* 14, 2 (Feb. 2013), 72121.
- [6] Ambrose, M.L. and Alder, G.S. Designing, implementing, and utilizing computerized performance monitoring: Enhancing organizational justice. In *Research in Personnel and Human Resources Management*, G.R. Ferris, Ed. JAI Press, Greenwich, CT, 2000, 187219.
- [7] Autor, D.H. and Dorn, D. The growth of low-skill service jobs and the polarization of the U.S. labor market. *American Economic Review* 103, 5 (2013), 15331597.
- [8] Ball, K. Workplace surveillance: An overview. *Labor History* 51, 1 (Apr. 2010), 87106.
- [9] Barley, S.R. Why the Internet makes buying a car less loathsome: How technologies change role relations. *Academy of Management Discoveries* 1, 1 (June 2015), 3160.
- [10] Brynjolfsson, E. and McAfee, D. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W.W. Norton, New York, 2014.

- [11] Cascio, W.F. and Aguinis, H. Research in industrial and organizational psychology from 1963 to 2007: Changes, choices, and trends. *Journal of Applied Psychology* 93, 5 (2008), 10621081.
- [12] Cascio, W.F. and Montealegre, R. How technology is changing work and organizations. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior* 3, 6 (2016), 349375.
- [13] Castanheira, F. and Chambel, M.J. Reducing burnout in call centers through HR practices. *Human Resource Management* 49, 6 (Nov./Dec. 2010), 10471065.
- [14] Coovert, M.D. and Thompson, L.F., Eds. *The Psychology of Workplace Technology*. Routledge, New York, 2014.
- [15] Demaerschalk, B.M., Vargas, J.E., Channer, D.D., Noble, B.N., Kiernan, T.J., Gleason, E.A., Vargas, B.B., Ingall, T.J., Aguilar, M.I., Dodick, D.W., and Bobrow, B.J. Smartphone teleradiology application is successfully incorporated into a telestroke network environment. *Stroke* 43, 11 (Sept. 2012), 30983101.
- [16] Dewhurst, M., and Willmott, P. Manager and machine: The new leadership equation. *McKinsey Quarterly* (Sept. 2014); http://www.mckinsey.com/insights/leading_in_the_21st_century/manager_and_machine
- [17] Elsbey, M., Hobijn, B., and Sahin, A. The labor market in the Great Recession. In *Brookings Papers on Economic Activity Spring 2010*, D. Romer and J. Wolfers, Eds. The Brookings Institution, Washington, D.C., 2010.
- [18] Frey, C.B. and Osborne, M.A. The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change* 114 (Jan. 2017), 254280.
- [19] Galston, W.A. Countering tech's damaging effect on jobs. *The Wall Street Journal* (Oct. 14, 2014); <http://www.wsj.com/articles/william-galston-countering-techs-damaging-effect-on-jobs-1413328435>
- [20] Griffith, E. Wearable technology. *Fortune* (Oct. 27, 2014), 5760; <http://2v1p011c9d9y1a3zveg9dmu6.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2015/04/84563.pdf>
- [21] Hertel, G., Stone, D., Johnson, R., and Passmore, J., Eds. *The Wiley-Blackwell Handbook of the Psychology of the Internet at Work*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2017.
- [22] Kidwell, R.E. and Sprague, R. Electronic surveillance in the global workplace: Laws, ethics, research, and practice. *New Technology, Work, and Employment* 24, 2 (July 2009), 194208.
- [23] Kühnle, H., Ed. *Distributed Manufacturing: Paradigm, Concepts, Solutions and Examples*. Springer, London, U.K., 2010.
- [24] Lu, J.L. Perceived job stress of women workers in diverse manufacturing industries. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing* 15, 3 (Summer 2005), 275291.
- [25] Lyytine, K. and Yoo, Y. Issues and challenges in ubiquitous computing. *Commun. ACM* 45, 2 (Feb. 2002), 6365.
- [26] McNall, L.A. and Stanton, J.M. Private eyes are watching you: Reactions to location-sensing technologies. *Journal of Business & Psychology* 26, 3 (Sept. 2011), 299309.
- [27] Meeker, M. *Internet Trends 2017*. Kleiner, Perkins, Caulfield, and Byers, May 31, 2017; <http://dq756f9pzlyr3.cloudfront.net/file/Internet+Trends+2017+Report.pdf>
- [28] Miles, J. and Hollenbeck, J.R. Teams and technology. In *The Psychology of Workplace Technology*, M.D. Coovert and L.F. Thompson, Eds. Routledge, New York, 2014, 99117.
- [29] Monga, V. The new bookkeeper is a robot. *The Wall Street Journal* (May 5, 2015), B1B7; <https://www.wsj.com/articles/the-new-bookkeeper-is-a-robot-1430776272>
- [30] National Research Council. *Collaboratories: Improving Research Capabilities in Chemical and Biomedical Sciences*. National Academies Press, Washington, D.C., 1999.
- [31] Nixon, A.E. and Spector, P.E. The impact of technology on employee stress, health, and well-being. In *The Psychology of Workplace Technology*, M.D. Coovert and L.F. Thompson, Eds. Routledge, New York, 2014, 238260.
- [32] Orlikowski, W.J. and Scott, S.V. Sociomateriality: Challenging the separation of technology, work, and organization. *Annals of the Academy of Management* 2, 1 (Jan. 2008), 433474.
- [33] Osman, M. Controlling uncertainty: A review of human behavior in complex, dynamic environments. *Psychological Bulletin* 136, 1 (2010), 6586.
- [34] Pfanner, E. Japanese robot maker Fanuc reveals some of its secrets. *The Wall Street Journal* (Mar. 27, 2015), B1B2; <https://www.wsj.com/articles/japanese-robot-maker-fanuc-reveals-some-of-its-secrets-1427384420>

- [35] Potosky, D. and Lomax, M.W. Leadership and technology: A love-hate relationship. In *The Psychology of Workplace Technology*, M.D. Coovert and L.F. Thompson, Eds. Routledge, New York, 2014, 118146.
- [36] Redden, E.S., Elliott, L.R., and Barnes, M.J. Robots: The new teammates. In *The Psychology of Workplace Technology*, M.D. Coovert and L.F. Thompson, Eds. Routledge, New York, 2014, 185208.
- [37] Rosen, L.D., Cheever, N., and Carrier, M., Eds. *The Wiley Handbook of Psychology, Technology and Society*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2015.
- [38] Ross, P., Sepper, R., and Pohjonen, H. Cross-border teleradiology: Experience from two international teleradiology projects. *European Journal of Radiology* 73, 1 (Jan. 2010), 2025.
- [39] Rotman, D. How technology is destroying jobs. *MIT Technology Review* (June 12, 2013); <http://www.technologyreview.com/featuredstory/515926/how-technology-is-destroying-jobs/>
- [40] Smite, D., Moe, N.B., and Agerfalk, P.J., Eds. *Agility Across Time and Space: Implementing Agile Methods in Global Software Projects*. Springer, Berlin, Germany, 2010.
- [41] Smith, A. and Anderson, J. *AI, Robotics, and the Future of Jobs*. Pew Research Center, Washington, D.C., 2014; <http://www.pewInternet.org/2014/08/06/future-of-jobs>
- [42] Van Hoose, D.D. *E-Commerce Economics*. Routledge, Milton Park, U.K., 2011.
- [43] Vanderkam, L. Work/life integration is the new normal. *Fortune* (Mar. 15, 2015), 139.
- [44] Wooldridge, A. The Icarus syndrome meets the wearable revolution. *Korn/Ferry Briefings on Talent and Leadership* (Feb. 2015), 2733; <https://www.kornferry.com/institute/icarus-syndrome-meets-wearable-revolution>
- [45] Zuboff, S. *In the Age of the Smart Machine: The Future of Work and Power*. Basic Books, New York, 1988.

المؤلفان

Ramiro Montealegre (Ramiro.Montealegre@colorado.edu): أستاذ مساعد في الإدارة وإدارة الإنتاج، في كلية ليندز للأعمال، التابعة لجامعة كولورادو، بولدر.

Wayne F. Cascio (wayne.cascio@ucdenver.edu): أستاذ مرموق في كلية الأعمال، التابعة لجامعة كولورادو، دنفر.

كفاءة الطاقة: مصدر قلقٍ جديدٍ لمطوري برمجياتِ التطبيقات

ENERGY EFFICIENCY: A NEW CONCERN FOR APPLICATION SOFTWARE DEVELOPERS*

Gustavo Pinto, Fernando Castor

ترجمة: د. نزار الحافظ
مراجعة: أ. مروان البواب

نقص المعرفة ونقص الأدوات يعوقان تطوير البرمجيات المُجدية طاقيًا.

غير تفتشي منصات الحوسبة المحمولة، مثل الهواتف الذكية والتجهيزات اللوحية والساعات الذكية والنظارات الذكية، ووجودها في كل مكان، الطريقة التي يستعملها الناس للتفاعل مع البرمجيات، لا سيما أن هذه المنصات تتشارك في تحدٍ: هو أنها تعمل بالبطارية. وحين يتفاعل المستعملون معها تتخفض متاحيتها، لأنه حتى العمليات البسيطة والمستمتلة جيدًا (على سبيل المثال، إرسال رسائل نصية إلى صديق) تستهلك الطاقة. وفي الوقت نفسه، يمكن أن تستنفد البرمجيات المسرفة

والضعيفة الاستمثال بطارية التجهيزة استنفادًا أسرع من الضروري. وقد تبين أن الاستعمال الكثيف للموارد هو أحد الأسباب المؤدية إلى تدني تقييم التطبيق في متاجر التطبيقات المتاحة على الخط [22].

لكن هذا القلق لا يتعلق بالمنصات المحمولة فقط. وبالفعل، توصل الفاعلون الكبار في ميدان صناعة البرمجيات أيضًا إلى الاستنتاج نفسه، طبقًا لما تذكره الأدلة القليلة المتعلقة بتطوير البرمجيات المُجدية طاقيًا: "حتى نقاط القصور الصغيرة في التطبيقات تتراكم معًا على مستوى النظام، فيتأثر بذلك بشدة عمر البطارية والأداء ومدى

الأفكار الرئيسية

- المطورون حاليًا لا يستوعبون استيعابًا كليًا كيفية كتابة تطبيقات برمجية مُجدية طاقيًا وصيانتها وتطويرها.
- جرى رصد مشكلتين رئيسيتين: افتقار المطورين إلى المعرفة بكيفية قياس فعالية الطاقة وملمجها (profile) واستمثالها، وافتقارهم إلى الأدوات اللازمة التي تساعدهم على أداء هذه المهام، لا سيما الأدوات التي تعمل مع التجريدات التي هم على دراية بها.
- يتطور بحث استهلاك البرمجيات للطاقة لتخفيف هذه المشكلات، ويسلط هذا المقال الضوء على طرق بحثية واعدة.

* نُشر هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 60، العدد 9، أيلول (سبتمبر) 2017، الصفحات 26 – 28.

الاستجابة والحرارة".¹ وتتصارع الشركات التي تدير مراكز معطيات مع مسألة ارتفاع تكاليف الطاقة. وتُعزى هذه التكاليف جزئيًا إلى الزيادة في التزود بالمخدمات التي تعمل باستمرار بأقل من طاقتها العظمى (على سبيل المثال، تَهْدِر مراكز المعطيات الأمريكية قدرًا هائلًا من الطاقة [15])، وتُعزى أيضًا إلى مطوري التطبيقات المشغلة في مراكز المعطيات هذه من دون أخذ الطاقة بالحسبان [36].

خلال العقود الأخيرة، لسوء الحظ، أُعطي القليل من الاهتمام لإنشاء التقنيات والأدوات والإجراءات لتمكين مطوري البرامج من تحسين استيعابهم لموارد الطاقة واستعمالها. ونتيجة لذلك، لا يزال مطورو البرمجيات يفتقرون إلى الكتب الدراسية والأدلة المرشدة والدورات التدريبية والأدوات اللازمة للرجوع إليها عند التعامل مع مشكلات استهلاك الطاقة [36،45]. وإضافة إلى ذلك، تركزت معظم الأبحاث، التي تربط بين الحوسبة وكفاءة الطاقة، في المستويات الدنيا لكدسة العتاديات والبرمجيات. لكن، تُبيِّن دراسات حديثة أن هذه الحلول ذات المستوى الأدنى لا تعطي الصورة الكاملة [2,9,25] عندما يتعلق الأمر باستهلاك الطاقة. ومع أن الأنظمة البرمجية لا تستهلك طاقة بنفسها، فإنها تؤثر في معدل استعمال العتاديات، وهذا يؤدي إلى استهلاك غير مباشر للطاقة.

كيف ترتبط البرمجيات باستهلاك الطاقة؟ استهلاك الطاقة E هو مقدار يراكم تبديد القدرة P بمرور الوقت t ، أي $E = P \times t$. وتقاس القدرة P بالواط، في حين تقاس الطاقة E بالجول. على سبيل المثال، إذا استغرقت إحدى العمليات 10 ثوان حتى اكتمالها وتبدت 5 واط، فإنها تستهلك 50 جول من الطاقة. على الأخص، فيما يتعلق باستهلاك البرمجيات للطاقة، ينبغي الانتباه إلى ما يلي:

- نظام البرمجيات المعطى الذي هو في قيد التنفيذ،
- والمنصة العتادية الذي يشغل عليها،
- والسياق الخاص بهذه البرمجيات،
- والمدة التي يستغرقه تنفيذها.

ولاستيعاب أهمية المنصة العتادية *hardware platform*، نأخذ تطبيقًا يستعمل الشبكة. يدعم الهاتف الذكي السِّلعي اليوم التقانات التالية على الأقل: WiFi، 3G، 4G. لاحظت دراسة حديثة أن 3G يمكن أن تستهلك طاقة أكبر بـ 1.7 مرة تقريبًا مقارنةً بـ WiFi، في حين أن 4G تستهلك طاقة أكبر بـ 1.3 مرة تقريبًا مقارنةً بـ شبكة 3G، في حال القيام بالمهمة نفسها على المنصة العتادية نفسها [23].

يؤدي السياق *context* أيضًا دورًا رئيسيًا، لأن الطريقة التي تُبنى بها البرمجيات وتُستعمل لها تأثير حاسم في استهلاك الطاقة. على سبيل المثال، يمكن أن تُجهَد البرمجيات طاقياً: وحدات المعالجة المركزية (CPU) لدى إجراء عمليات حسابية مستهلكة بشدة لوحدة المعالجة المركزية (CPU-intensive computations) [46]، والذاكرة الديناميكية (DRAMs) لدى إجراء عمليات نفاذ عشوائية إلى بنى معطيات [34]، والشبكات لدى تشغيل العديد من طلبات HTTP [9،28]، وشاشات العرض لدى استعمال خلفيات أخف وزناً [29،32] أو لدى تشغيل فيديو.

¹ https://developer.apple.com/library/content/documentation/Performance/Conceptual/power_efficiency_guidelines_osx/index.html#//apple_ref/doc/fuid/TP40013929

أخيراً، يؤدي الزمن دوراً رئيسياً في هذه المعادلة. وهناك اعتقاد خاطئ شائع بين المطورين، هو أن تقليل مدة التنفيذ يقلل أيضاً من استهلاك الطاقة [36،45]، الوسيط t في المعادلة. ومع ذلك، نمة فرص أن يؤدي تقليل مدة التنفيذ إلى زيادة عدد مرات تبديل السياق، وهذا بدوره يمكن أن يؤدي إلى زيادة P في المعادلة، ومن ثم إلى زيادة في استهلاك الطاقة الناتج. **هندسة البرمجيات واستهلاك الطاقة.** مع أن الاستراتيجية المتمثلة في إحالة مشكلة استمثال استهلاك الطاقة إلى الطبقات الأدنى مستوى كانت ناجحة، أظهرت دراسات حديثة أنه يمكن تحقيق اقتصاداً أعلى في الطاقة بتمكين مطوري البرمجيات من المشاركة في الإجرائية وتشجيعهم على ذلك [9، 23، 34، 42]. لكن مستوى التطبيق، وهو محور معظم البرمجيات الرئيسية التي يجري تطويرها في الوقت الحالي، كان هدفاً لعدد قليل من الدراسات.

لوحظ هذا النقص في التقييم في ورقة بحثية حديثة [48]، استطلع فيها المؤلفون الأبحاث المنشورة خلال 10 سنوات في أفضل مواقع هندسة البرمجيات، فوجدوا 20 ورقة بحثية فقط تحوي كلمة "قدرة" أو "طاقة" في عناوينها أو ملخصاتها. لكن ما يثير الاهتمام أكثر أن المؤلفين لاحظوا أنه لم يُنشر أي منها قبل عام 2012. ففي عام 2012، نُشرت ثلاث ورقات بحثية، في حين نُشرت ست ورقات في عام 2013 و 11 ورقة في عام 2014. وهذا يدل على الطبيعة الفتية لهذا الحقل.

تُعدّ الحاجة إلى الدراسات التي تركز على المستويات العليا من كدسة البرمجيات هامة من منظورين هامّين على الأقل:

منظور مهندس البرمجيات. يعد استعمال البطارية عاملاً أساسياً في اعتماد تطبيقات الهاتف المحمول وتقييمها. يمكن أن يقوم مستعملو التطبيق غير المُجدي طاقياً بنقده سلبياً، وهذا يشجع المستعملين الآخرين على عدم استعماله، ويمكن أن يؤثر سلباً في إيرادات التطبيق.

منظور المستعمل النهائي. يأتي الميل الأخير في فعالية الطاقة من خيارات المستعملين النهائيين. وبغية اتخاذ خيارات أفضل، ومن ثمّ تقليل استهلاك الطاقة إلى الحد الأدنى، يجب أن يكون المستعملون النهائيون على دراية بخصائص الطاقة المختلفة للتطبيقات البرمجية التي تخدم الغرض نفسه.

يقدم هذا المقال مراجعةً لأبرز مناهج هندسة البرمجيات لكتابة تطبيقات البرمجيات المُجدية طاقياً وصيانتها وتطويرها. نظّمنا المساهمات وفقاً لدليل معارف هندسة البرمجيات (SWEBOK) [1]، وهي ممارسة شائعة في دراسات هندسة البرمجيات (مثلاً، Murphy-Hill et al. [39]). وجدنا عند الانتهاء من هذه المراجعة أن ما كُتب عن هذا الموضوع (literature) لا يتناول بفعالية نطاقاتٍ معينةً من SWEBOK. وإزاء هذه الحالات نقدّم رؤانا لطرق البحث الممكنة التي يمكن للباحثين المدركين للطاقة اتباعها لتقليص هذه الفجوة.

نُمنط اللثام عن تصورات مطوري برمجيات الجوال لدى التعامل مع مشكلات استهلاك الطاقة، للتصدي لمشاكلهم وإيجاد الحلول الممكنة لها. نسلّم أن معظم المشكلات المتعلقة بالطاقة، في الواقع، يمكن اختزالها إلى مشكلتين رئيسيتين: نقص المعرفة ونقص الأدوات، ونستعرض الكتابات الحديثة لاستيعاب كيفية معالجة الباحثين في هندسة البرمجيات هاتين المشكلتين.

دراسة إرشادية

تطرق مسائل استهلاك الطاقة الآن باب مطوري البرمجيات التطبيقية. ولتسليط الضوء على هذه المسألة، أجرينا، على غرار ما فعل Pang et al. [42]، دراسة مسحية على مطوري البرمجيات لفهم تصوراتهم لمسائل استهلاك البرمجيات للطاقة. في

بحثنا هذا، مقارنةً ببحث سابقٍ لنا أجرينا فيه دراسة مسحية على مجموعة واسعة من مطوري البرمجيات، نجعل مجموعة المستهدفين بدارستنا أكثر تركيزًا، إذ تتكون من 62 مطورًا للبرمجيات ممن أنجزوا التزامًا، واحدًا على الأقل، بتطبيق مفتوح المصدر للجوال.

من بين الذي استجابوا، 68.75% لديهم أكثر من ثماني سنوات من الخبرة في تطوير البرمجيات، 57.81% لديهم أكثر من عامين من الخبرة في التطوير للجوال، 77.41% لديهم أكثر من عامين من الخبرة في تطوير المصادر المفتوحة. أغلبهم (57.8%) هم من المساهمين في الرماز المصدري أو أصحاب مشروعات (35.9%). وما يثير الاهتمام أكثر أن 70.31% من المستجيبين يتفقون على أن استهلاك الطاقة يمكن أن يكون مشكلة في تطبيقاتهم للجوال. وكذلك واجه 37 من المستجيبين سلفًا مشكلاتٍ متعلقة بالطاقة، طبقًا لقول أحدهم: "لدينا غلاف طاقة محدود للنظام بكماله، وعلينا التحقق أن المكونات النّهمة للقدرة لا تتسبب في تجاوز النظام لهذا الحد. أيضًا، يُدرك بعض المستجيبين أن عدم الكفاءة في استهلاك الطاقة يمكن أن يؤثر في رواج التطبيق، ومن ثم في عائداته: سيوجه المستعملون نقدًا سيئًا إذا استنزفت البطارية".

وعندما سئل المستجيبون عن حالة عثورهم على السبب الجذري للمشكلات المتعلقة بالطاقة، 50% لم يردوا. والذين ردوا، كان من بين إجاباتهم المتكررة: الأسباب هي: الأنشطة الخلفية، ونظام تحديد الموقع الشمولي (GPS)، والاستعمال غير الضروري للموارد. ومما يثير الاهتمام أن هذه المشاكل لوحظت أيضًا في دراسات أخرى [36، 45]. لكن 31.81% من المستجيبين لم يلاحظوا أيّ تحسنٍ كبير في استهلاك الطاقة بعد تطبيق حلولهم. أما الذين لاحظوا تحسنًا، فقد استعمل خمسة منهم فقط أدواتٍ متخصصة. ومعظمهم لديه تصور للتحسن، على سبيل المثال: "البطارية تدوم مدةً أطول"، أو "تتبعث حرارة أقل من الجهاز"، أو "أنا حقًا لا أقيس قبل وبعد. إنه مجرد تصور". وعندما سألنا عن المكان الذي يعثرون فيه على معلومات موثوقة عن الحلول التي يمكن استعمالها للاقتصاد في الطاقة، أشار سبعة منهم إلى الوثائق الرسمية، وخمسة منهم رجعوا إلى موقع Stack-Over flow²، وخمسة رجعوا إلى قنوات أخرى (مدونات blogs، يوتيوب، خازنات repositories مفتوحة المصدر). يعلّب على الحلول الموصوفة في مصادر التوثيق هذه، لسوء الحظ، كونها لا دعم لها بالأدلة التجريبية [38، 45]. وكما تزداد الأمور سوءًا، يعتمد اثنان من المستجيبين على "التجربة والخطأ"، وهو أمر بعيد عن الدقة.

وإضافة إلى ذلك، أفاد 67% من المستجيبين أن وجود الميزات المتعلقة بالطاقة "هام" أو "هام جدًا" في بيئات التطوير المتكاملة (IDEs) المعروفة. وثمانية فقط من إجمالي المستجيبين استعملوا بالفعل أدوات لقياس استهلاك البرمجيات للطاقة. وقال المستجيبون إن أهم الميزات المتعلقة بالطاقة المطلوبة في بيئات IDEs المعروفة هي أدوات تحليل الملامح (profiling) (16 إجابة) لكل من: وحدة المعالجة المركزية، والشبكة، والطرائق، وأفعال الإيقاظ (wake locks)، والدقائق (threads)، واللامح الحية (live profiles). بالفعل، أفاد أحد المستجيبين أن بيئات IDEs المعروفة، مثل Android Studio، تقتصر إلى هذه الميزات: "يحتاج Android Studio إلى محلّ ملامح (profiler) طاقةً جيد للتحقق من استهلاك قدرة أندرويد من جميع المكونات المستهلكة للقدرة (تجهيز الراديو، وحدة المعالجة المركزية، الذاكرة، الخزن، كل شيء)". وهذه النتائج متوافقة مع نتائج Pang et al. [42]، وتعرّز أيضًا حقيقةً أن إدارة الطاقة على مستوى التطبيق مطلوبة بشدة بين مطوري البرمجيات التطبيقية، وإن كانت الحاجة ماسة إلى دعم أفضل.

² Stack Overflow هو موقع أسئلة وأجوبة للمبرمجين المحترفين والمتحمسين. (موقع ويكيبيديا - المترجم)

وطلبنا كذلك من خمسة باحثين بارزين في مجال استهلاك البرمجيات للطاقة أن يحدّوا أهم المساهمات وأكبر التحديات المفتوحة في هذا المجال، فاتفقوا جميعهم على أن دعم الأدوات ما زال مفقودًا عندما يتعلق الأمر بقياس الطاقة، وإعادة الهندسة، وإعادة البناء، وغيرها من الأنشطة ذات الصلة. ومع أنه يوجد اهتمام حديث لدى مصممي بيئات IDEs بتوفير منظورٍ لاستهلاك الطاقة بواسطة أنظمة البرمجيات التي يجري تطويرها³، فإن هذه النتيجة تشير إلى أنه لا يزال هناك الكثير مما يجب عمله.

المشاكل المتعلقة بالطاقة

وكما لاحظنا في دراستنا الإرشادية، يتعين على مطوري البرمجيات حاليًا الاعتماد على مواقع وب الخاصة بالأسئلة والأجوبة، أو منشورات المدونات، أو مقاطع فيديو اليوتيوب، إذا حاولوا استمثال استهلاك الطاقة، وتلك المواقع تقع ضمن نطاق القصص، لا تدعمها أدلة تجريبية، أو هي حتى غير صحيحة [24، 36]. وتتمثل عواقب النقص في الكتب الدراسية والإرشادات و"كتب الطهي" المناسبة لتطوير البرمجيات الخضراء في نقص المعرفة بكيفية كتابة تطبيقات برمجية مُجدية طاقيًا وصيانتها وتطويرها. يضاف إلى ذلك، أن المستجيبين أشاروا أيضًا إلى أنهم يعتقدون أن من الهام جدًا أن تتوفر الميزات المتعلقة بالطاقة في بيئات IDEs المعروفة، لا سيما تقنيات تحليل ملامح الطاقة التي يمكن أن تكون مفيدة جدًا. إن هذا النقص في الميزات المتعلقة بالطاقة يتسبب في نقص الأدوات اللازمة للعثور على الرماز غير المُجدي طاقيًا وإعادة تركيبه وإصلاحه. تدرس الكتابات (literature) أيضًا نقص المعرفة ونقص الأدوات اللازمة لكتابة برمجيات مُجدية طاقيًا. على سبيل المثال، لاحظ Pinto et al. [45] أن ثمة مفهومًا خاطئًا شائعًا يتمثل في الخلط بين المفاهيم مثل "القدرة" و "الطاقة". ولاحظ Manotas et al. [36] أن المطورين يعتقدون بوجود حلول لكل شيء، أي الحلول التي تُقدّم على أنها شمولية، لكنها في الواقع لا تصلح إلا في سياقات محدّدة. على سبيل المثال، على حين يقترح أحد المطورين "إفراغ الحساب (offloading) في السحابة" لتحسين استهلاك الطاقة، يشير مطور آخر إلى أن "الاستعمال المنخفض للراديو يزيد من عمر البطارية". ونتيجة لذلك، ينبغي أن يأخذ المطورون بالحسبان العتبات الأساسية للاستفادة المناسبة من كل حل. تلك كانت أمثلة على نقص المعرفة. ولزيادة تعقيد الأمور أكثر، فإن استمثال الأداء لا يساعد دائمًا على الاقتصاد في الطاقة [25، 26، 31، 46]. ولذلك فإن الكتب الدراسية والإرشادات الشاملة بخصوص الأداء ليست مفيدة دائمًا.

يرتبط نقص المعرفة المذكور ارتباطًا جوهريًا بنقص الأدوات. إذ لاحظ Moura et al. [38] أن المطورين الواعين للطاقة يستعملون، غالبًا، حلولًا منخفضة المستوى تؤدي في بعض الأحيان إلى مشاكل تتمثل في صعوبة اكتشاف الصحة. تقدم رسالة الالتزام التالية مثالًا على مشكلة الصحة: "عطلٌ ميزة الاقتصاد في الطاقة التلقائي عند إعادة ضبط المودم، لمنع وقوع العديد من الأخطاء في الاتصالات التسلسلية"⁴. يمكن أن تكون الأدوات العالية المستوى للاقتصاد بالطاقة مفيدة في تخفيف هذه المشكلة. يضاف إلى ذلك، أن مقال Pang et al. [42] وجد أن 88% من المستجيبين للدراسة المسحية يجهلون الأدوات التي يمكنهم استعمالها لقياس استهلاك برنامجهم للطاقة. تلك كانت أمثلة على نقص الأدوات. وعلى الرغم من وجود أدوات لحساب استهلاك البرامج للطاقة، فإنها تعاني من قيود لم يجرِ التصدي لها بعد:

³ <https://developer.apple.com/library/ios/documentation/Performance/Conceptual/EnergyGuide-iOS/MonitorEnergyWithXcode.html>

⁴ <https://github.com/alobo/SerialGSM/commit/c616b950>

- تحتاج الأدوات إلى معرفة معمقة بتفاصيل التنجيز ذات المستوى المنخفض لتلك الأدوات، ولا يخفى أن لدى المبرمجين، تحت ضغط الوقت، فرصة ضئيلة لتعلم كيفية الاستفادة من تلك الأدوات؛
 - لا تقدم الأدوات إرشادات مباشرة لكيفية استمثال الطاقة، بمعنى سدّ الفجوة بين معرفة أين يجري استهلاك الطاقة وفهم كيفية تعديل الرماز لتخفيض استهلاك الطاقة.
- نناقش هنا كيفية تصدي أبحاث هندسة البرمجيات الحالية لهاتين المشكلتين الرئيسيتين.

الحلول المتعلقة بالطاقة

بسبب من عدم وجود أية حلول للحفاظ على الطاقة، نقوم بتنظيم المساهمات وفقاً لموضوعات SWEBOOK [1]، وهي ممارسة شائعة في دراسات هندسة البرمجيات (على سبيل المثال، Murphy-Hill et al. [39]). إن استهلاك الطاقة يمكن أن يكون مرتبطاً بأي موضوع يتعلق بهندسة البرمجيات، ومع ذلك اخترنا التركيز على الموضوعات المتصلة مباشرة بترميز البرمجيات فقط، لأن الترميز هو أحد الأنشطة الرئيسية لمطوري البرمجيات وغاية معظم المساهمات البحثية الحديثة. لذلك لن نتناول الموضوعات التالية: إدارة تشكيل البرمجيات، إدارة هندسة البرمجيات، إجرائية هندسة البرمجيات، متطلبات البرمجيات.

أدوات وطرائق برمجية. ننظم مناقشتنا بخصوص أدوات هندسة البرمجيات وطرائقها إلى فئات: طرق التحسين، وأدوات القياس، وأدوات التحليل السكونية.

طرائق التحسين. تشير هذه الطرائق إلى تقنيات الاقتصاد في الطاقة التي يمكن أن يستعملها المطورون، حتى لو لم يكن لديهم معرفة سابقة بمجال التطبيق. على سبيل المثال، غالباً ما يستفيد مطورو البرمجيات من وحدات المعالجة المركزية الحديثة لتغيير ترددات التشغيل الخاصة بها ديناميكياً، وبذلك يقللون تبديد الطاقة [38]. لكن ينبغي على مطوري البرمجيات، عند تطبيق هذه التقنية، استعمال واجهات النظام المنخفضة المستوى غير المنيع من الأخطاء وغير المستقلة عن المنصة. بيد أن، خفض تردد وحدة المعالجة المركزية خفضاً أعمى يمكن أن يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة وتقليل الأداء [20، 34]. كان هذا مثلاً هاماً على نقص الأدوات. وللتخفيف من هذه المشكلة، تُعتمد الأساليب الجديدة على التكيف الديناميكي، باستعمال واجهات برمجة التطبيقات (APIs) الخاصة بـ: مجزراً (module) محلّ ملامح الطاقة، وسياسات الطاقة، وتكيف الطاقة [49، 50]. يستطيع مجزراً محلّ ملامح الطاقة تعرّف حالات النظام وتقدير الطاقة التي يُحتمل أن يطلبها أحد التطبيقات. ومثال آخر على طرائق التحسين: إعادة تخصيص الطرائق (method reallocation) [10]، وتعني تحليل النظام البرمجي مع الأخذ في الحسبان بجميع مستويات الكدسة (على سبيل المثال، مستويات: النواة، والمكتبات، والرماز المصدري)، وإعادة تنظيم الصفوف والطرائق وفق مستويات الكدسة، بحيث يمكن وضعها في المستوى الذي يكون فيه استهلاك الطاقة في حده الأدنى. لكن لهذه التقنية قيد، إذ لا يمكن استعمالها إلا إذا سمح نظام التشغيل وبيئة تطوير البرامج لمطوري برمجيات التطبيق بالانتقال بين المستويات المختلفة (على سبيل المثال، من مستوى الرماز المصدري إلى مستوى النواة). وثمة استراتيجية مماثلة: هي الإفراغ في السحابة (cloud offloading) [23]، بمعنى إرسال الحسابات "الثقيلة" إلى حاسوب بعيد؛ وبعد التنفيذ عن بعد، إعادة النتيجة إلى الآلة المحلية. الغرض هو إعادة ترتيب تنجيز النظام على مستوى الرماز المصدري، بحيث تحفّض الطاقة المستهلكة بتقليل المعالجة إلى الحد الأدنى. ومن المثير للاهتمام أنه عندما سألنا المستجيبين عن حالة عثورهم على أي حل للتغلب على المشكلات المتعلقة بالطاقة، ردّ أحد المستجيبين: "أفرغ العمل الكثيف في المحطات العاملة

في السحابة". لكن هذه التقنية لا تكون فعالة إلا إذا أمكن الاقتصاد المحصّل تعويض تكلفة الطاقة الإضافية اللازمة لإرسال الحساب ضمن شبكة. لذلك، توجد موازنات، وكما درسنا سابقاً، فلكمونات المختلفة خصائص مختلفة في استعمال الطاقة. أدوات القياس. تتضمن بعض أدوات القياس طرائق تستعمل المعطيات التي جُمعت من واجهات النظام المختلفة لتقييم استهلاك الطاقة على مستوى التطبيق، ومثال على ذلك المتوسط الحالي لحدود القدرة (RAPL: Running Average Power Limit). يمكن هذا المجتزأ البنيان من مراقبة استهلاك الطاقة وتخزينها في سجلات لآلة محدّدة (MSRs: Machine-Specific Registers)⁵، لذلك اعتمد العديد من دراسات استهلاك الطاقة (على سبيل المثال، [30] Lima et al.، [34] Liu et al.، [47] Pinto et al.) على هذا المجتزأ. يمكن بواسطة هذه التقنيات تحليل ملامح النظام وتحليل النظام ذاته، لمعرفة استدعاءات النظام التي لها مساهمة كبيرة في تبديد الطاقة [10،34]. تُستعمل استدعاءات النظام، على وجه الخصوص، بفعالية للتنبؤ باستهلاك نظام البرمجيات للطاقة وتقدير هذا الاستهلاك [2،3،8].

وثمة أدوات أخرى للاستفادة من نماذج الطاقة. تعتمد هذه الاستراتيجية على استعمال نموذج قياس مادي لاستهلاك التجهيز للطاقة [17، 23، 26]. لدى نماذج الطاقة مستوى ثقة أعلى في حالة تقريب استهلاك الطاقة للعتاديات التي جرى إنشاء النموذج عليها فقط. ويُعدّ هذا النموذج مجرد تقدير فقط في حالة بنين عتاديات أخرى.

وعلى الرغم من وجود بعض الأدوات البرمجية بالفعل لقياس الطاقة (على سبيل المثال، [17] Hindle et al. و [26] Li et al.)، فإن هذه الأدوات لها عيوب معروفة. أولاً، يمكن أن تتسبب أدوات قياس الطاقة بعبء إضافي على استهلاك الطاقة، ويرجع ذلك في الغالب إلى آلية أخذ العينات. يُعدّ تحصيل المعطيات (أي أخذ العينات) نتيجة إجرائية تحصيل المعلومات من البيئة المحيطة ومعالجة المعطيات وإرسالها إلى نقطة تجميع أخرى بغية استهلاكها. لذلك، يمكن أن تؤثر تقنيات أخذ العينات في استهلاك الطاقة. وهذا يُثير تحدياً، فقد قدّمت دراسة حديثة دليلاً على أن معدل أخذ العينات العالي ضروري للحصول على معلومات موثوقة [51]. ومع أنه يمكن التغلب على هذه المشكلة باستعمال مناهج القياس المعتمدة على البرمجيات [34]، فإن هذه المناهج، غالباً، تُعدّ أقل صرامة من المناهج المعتمدة على العتاديات.

المناهج الثانية المعتمدة على العتاديات والبرمجيات، لا توفر غالباً مستوى الخبيبية (granularity level) الذي يؤثر اهتمام مطوري برمجيات التطبيقات [36، 35]. على سبيل المثال، لا يوجد أداة تدعم قياس استهلاك الطاقة لكل دفقة (thread) لكل مجتزأ (module) في النظام. ومن الصعب ربط قياسات الطاقة للدقائق التي تتفدّ بأحداث دقيقة الخبيبية تجري أثناء تنفيذ البرنامج، مثل استدعاءات الطرائق. ولتصعيب الأمور أكثر، ينبغي الأخذ بالحسابان الطاقة الذيلية (tail energy) - أي حالة القدرة العالية التي تستمر طويلاً بعد استعمال المكونات العتادية، مثل GPS [26]- حتى في وجود تبديلات السياق (context switches). ونتيجة لذلك، يوجد عدم تطابق بين الضجيج الناجم عن القياسات الخشنة الخبيبية والتأثير الطاقّي البالغ الصغر لاستدعاءات الطرائق. مع ذلك، أفاد 11 مستجيباً لدراستنا المسحية أن أدوات القياس تُعدّ من أهم الميزات المتعلقة بالطاقة التي يُطلب توفرها في بيئات التطوير المتكاملة المعروفة.

أدوات التحليل السكوني. يتمثل أحد التحديات الرئيسية لبحوث استهلاك البرمجيات للطاقة في نقل التحليل إلى المستوى السكوني. لا يمكن قياس استهلاك البرمجيات للطاقة حالياً إلا في زمن التنفيذ. ولهذا المنهج عدة قيود؛ مثل اقتصره على العتاديات المعقّدة (والباهظة الثمن) [46] أو قابلية تطبيقه على تشكيلات عتادية مخصصة فقط [34]. تعني هذه الحقيقة احتمالاً محدودة قابلية استعمال أدوات استهلاك البرمجيات للطاقة.

⁵ <https://01.org/msr-tools/overview>

وعلى الرغم من وجود القليل من الدراسات في هذا المنحى (على سبيل المثال، تقنية التحليل السكوني لتقدير استهلاك البرامج المضمنة للطاقة [33])، فإن هذه الأدوات، غالبًا، تجمع بين تقنيات التحليل السكوني والتحليل الديناميكي (على سبيل المثال، Li et al. [26, 28])، وهذا يجعلها غير مستقلة عن العتاديات، وغير ناضجة، ولا واسعة النطاق للاستعمال في تطوير البرمجيات الحقيقية. يتمثل أحد التحديات الرئيسية المتعلقة بوضع أدوات التحليل السكونية لاستهلاك الطاقة، في الحاجة إلى كمٍ معرفي عن كيفية تأثير لَبِنَات اللغة وقرارات التصميم في استهلاك الطاقة. وبسبب الطبيعة الناشئة لهذا المجال البحثي [48]، يُعتقد أنه سٌجرى دراسات تجريبية جديدة لاستهلاك الطاقة في السنوات القادمة، تساعد بدورها الباحثين على إنشاء أدوات تحليل سكونية كهذه.

صيانة البرمجيات. نَظْمًا مناقشة صيانة البرمجيات في محاور: إعادة البناء وإعادة الهندسة والإظهار المرئي.

إعادة البناء. في أدوات إعادة البناء refactoring، يمكن الاستفادة من أحدث الأبحاث المتطورة ومكاملة هذه المعرفة في محركات إعادة البناء. مع ذلك، وفقًا لإفادة أحد المستجيبين من الباحثين، "هناك الكثير من العمل الذي يبين كيفية تأثير أساليب البرمجة المختلفة وتقنياتها وبنياتها في الاستهلاك، ومع ذلك لا يوجد حتى الآن فهرسة حقيقية ... اعتمادًا على الممارسات البرمجية الواقعية هذه." ومع أن الباحثين تأملوا في هذا الموضوع على مدى السنوات الماضية [14]، فإنه لا يوجد، على حد علمنا، سوى عدد قليل من الدراسات التي تتناول مسألة إدخال أدوات إعادة بناء جديدة لتحسين فعالية استعمال نظام البرمجيات للطاقة [5, 12]. وفي إحدى هذه الدراسات، يقم المؤلفون مجموعة من الإرشادات المتعلقة بكفاءة استعمال الطاقة، المفصلة خصيصًا لتطبيقات أندرويد، مثل تحديث الموضوع وتسريب الموارد. لاحظ المؤلفون، لدى تطبيقها، تحسنًا بمقدار لا يتجاوز 29٪ من إجمالي استهلاك الطاقة.

إنّ هذا النقص في المساهمات غير مرتبط بنقص الفرص، فكما ذكرنا، توجد فرص عديدة لمطوري البرمجيات التطبيقية لتقليل من استهلاك الطاقة بإعادة بناء الأنظمة الحالية [19, 48]. على سبيل المثال، لاحظ Pinto et al. [47] أن مجرد التحديث من Hashtable (جدول تليبد) إلى Concurrent HashMap (مقابلة تليبد متسايرة) في برنامج جافا يمكن أن يختصر استهلاك الطاقة 3.5 مرة. على وجه الخصوص، ينتج عن هذا التحويل اختصار طاقة 1.4 مرة في وحدة المعالجة المركزية و 9.2 مرة في ذاكرة DRAM. مثال آخر: لاحظ مؤلفو Pathak et al. [43] أن عمليات الدخل/الخروج تستهلك طاقة أكثر، جزئيًا بسبب ظاهرة الطاقة الذيلية، ورأوا أن تجميع هذه العمليات معًا يمكن أن يخفف من تسريب الطاقة الذيلية. ولهذه النتائج تأثير واضح: للأدوات التي تساعد المطورين على إعادة بناء البرامج بسرعة فائدة إذا كان استهلاك الطاقة أمرًا هامًا لهم.

إعادة الهندسة. يمكن أن تكون جهود إعادة الهندسة أبعد مدى من أدوات إعادة البناء، وتؤثر في بنية التطبيق على مستوى النظام. ذكرنا سابقًا أنّ إعادة التحصيل [10] والإفراغ [23] هما استراتيجيتان شائعتان لتجيز إعادة هندسة الطرائق المتنبّهة للطاقة (energy-aware). ويؤيد ذلك عمل عثمان وآخرين، الذين وجدوا أنه يمكن تقليل استهلاك الطاقة حتى 20٪ برفع المهام من التجهيزات المحمولة ونقلها إلى المخدمات الثابتة [41]. اقترح Manotas et al. [37] استراتيجية مختلفة، تسمى SEEDS، هي إطار عام في صنع القرار الغرض منه استمثال استهلاك البرمجيات للطاقة. يمكن بواسطة إطار العمل SEEDS تعرّف الاستعمالات غير المُجدية طاقياً لمجموعات جافا (collections)، وأتمتة إجراءات اختيار مجموعات تكون أكثر كفاءة. وبالمثل، طوّر Fernandes et al. [13] أداة تعرّز التحليل السكوني والديناميكي وتُقدّم أكثر بنى المعطيات كفاءة في استعمال الطاقة. جرى استعمال مناهج هندسة البرمجيات المعتمدة على البحث التي تُعيد هندسة نظام برمجيات لتقليل

استعمال الطاقة إلى الحد الأدنى [6]، وهذا يؤدي إلى إنقاص حتى 25% من الطاقة. إن هذه المناهج تخفف من مشكلة نقص الأدوات.

تُعدّ تقنيات الإظهار المرئي (visualization) مفيدة لدعم فهمنا للأنظمة البرمجية بغية اكتشاف شذوذاتها وتحليل تلك الشذوذات. يقترح [26] Li et al. تقنية يراكب فيها معلومات استهلاك الطاقة مع الرماز المصدري للتطبيق. ووفقاً لهذه التقنية، تعطى الكميات المختلفة من الطاقة المستهلكة في سطر معين من الرماز ألواناً مختلفة- تدل السطور الزرقاء على الاستهلاك المنخفض للطاقة، والسطور الحمراء على الاستهلاك العالي للطاقة. تعمل تقنية الإظهار المرئي هذه بمستوى حُبيبيّة دقيقة، على مستوى الرماز المصدري. من ناحية أخرى، تركز دراسة [11] Couto et al. على مستوى حُبيبيّة خشنة: تتعرّف استهلاك الطاقة لكل طريقة، وتُجمّع هذه الطاقة على مستوى الصفوف والحزم والنظام البرمجي الكامل، وتقدّم النتيجة في مخطط "أشعة الشمس المبعثرة" الذي يتيح للمطورين تعرّف أكثر الأجزاء غير المُجدية طاقياً في الرماز بسهولة وسرعة. تُجمع هذه الدراسات بين الفن والتقانة ليكونا وسيلة لتمثيل استهلاك الطاقة. لدى اكتساب فهم أفضل لسلوك الطاقّي للبرنامج بكماله، يكون لتقنيات الإظهار المرئي فائدة في تخفيف كلّ من نقص المعرفة ونقص الأدوات.

تصميم البرمجيات وبنائها. يدرس الباحثون استراتيجيات مختلفة لتصميم البرمجيات المُجدية طاقياً وبنائها [16,25,29,31,43]. تركز هذه الدراسات على فهم كيفية تأثير ممارسة برمجية أو تنجز تصميم في استهلاك الطاقة. ولتحصيل مزيد من الثقة بالنتائج، تحلّل هذه الدراسات غالباً عشرات من التطبيقات البرمجية (على سبيل المثال، [20] Kambadur)، أو مئات منها (على سبيل المثال، [25] Li et al.)، وتخفّف حدة النقص في المعرفة بإعطاء إرشادات عالية المستوى لتصميم برمجيات مُجدية طاقياً. سنتناول مناقشاتنا تصميم البرمجيات وبناءها لكلٍ من: الجوال، والشبكة، وبنى المعطيات، وتقنيات البرمجة المتوازية.

الجوال. درس [31] Linares-Vasquez et al. استدعاءات API التي قد تُسبب استهلاكاً عالياً للطاقة، فلاحظوا، مثلاً، أن طريقة Activity.findViewById الشائعة الاستعمال، هي واحدة من أكثر طرائق واجهات برمجة تطبيقات أندرويد استهلاكاً للطاقة. وبالمثل، وجد [35] Malik et al. أن واجهتي API BroadcastReceiver و Location كانتا أكثر واجهتين عرضةً للمناقشة في الأسئلة المتعلقة باستهلاك Android للطاقة في موقع Stack Overflow. وإضافة إلى ذلك، لما كانت شاشة الإظهار هي أحد المكونات الأكثر استهلاكاً للطاقة في الهاتف الذكي [7]، ناقش [29] Li et al. كيفية تحسين فعالية الطاقة بتفضيل الألوان الداكنة على الألوان الفاتحة للهاتف الذكي المزود بشاشة إظهار OLED. وقد استطاع Linares-Vasquez et al. [32]، بتطبيق نهج معتمد على البحث ومتعدد الأهداف، استمّال استهلاك الطاقة والتباين contrast تلقائياً، بشرط استعمال ألوانٍ منسجمة مع لوحة الألوان الأصلية. وحلّل [19] Oliveira Jr. et al. استهلاك الطاقة بواسطة مناهج تطوير تطبيقات أندرويد، Java و JavaScript و Java + C++، في كلّ من تطبيقات قياس الأداء benchmarks والتطبيقات الحقيقية. ولاحظ المقال، في كلتا الحالتين، أن للمناهج المختلفة تأثيرات مختلفة في الطاقة، وأن دمج مناهج مختلفة يؤدي، بوجهٍ خاص، إلى خفض استهلاك الطاقة إلى عُشر ما هو عليه في التطبيقات الحسابية الكثيفة.

معدل استعمال الشبكة. حلّل [25] Li et al. أكثر من 400 تطبيق أندرويد من العالم الحقيقي، فوجدوا أن طلب HTTP هو أكثر عمليات الشبكة استهلاكاً للطاقة. وفي دراسة متابعة لاحقة، لاحظ المؤلفون أنفسهم أن تجميع طلبات HTTP تُعدّ ممارسةً جيدة لتحقيق اقتصادٍ في الطاقة [28]. وفيما يتعلق باستعمال HTTP، لاحظ [9] Chowdhury et al. أن بروتوكول HTTP/2 هو أعلى كفاءة طاقياً من سابقه، HTTP/1.1، في حال الشبكات ذات القيم العالية لمدة الجولة

(RTTs). ولما كانت معظم تطبيقات الجوال تستعمل الشبكة [25]، فإنه يُتوقع المزيد من المساهمات في هذا الاتجاه. فيمكن للباحثين تقييم فوائد تتجاوز تجميع الطلبات، مثلاً تقليل المعاملات وضغط المعطيات والتعامل بما يتناسب مع الأخطاء للحفاظ على الطاقة.

بنى المعطيات. جرت دراسة سلوك الطاقة لمختلف بنى المعطيات، وهي إحدى كتل البناء في برمجة الحاسوب، على نطاق واسع في السنوات القليلة الماضية [16،30،37،47]. مثلاً، تقصّى حسن وآخرون [16] بنى المعطيات المجمعّة باستعمال ثلاث واجهات (قائمة List، مجموعة Set، تقابل Map). ولاحظوا من النتائج التي وجدوها أن موضع إدراج العنصر في القائمة List له أثر هام في استهلاك الطاقة. ودرّس Pinto et al. [47] مجموعة الواجهات ذاتها، لكنهم ركّزوا على بنى المعطيات الآمنة للدقة (thread-safe data structure). ولاحظوا أيضاً أن استعمال إصدار أكثر حداثة، من بنية معطيات آمنة للدقة، يمكن أن يزيد الاقتصاد في الطاقة 2.19 مرة مقارنةً بالتنجيز التجميعي القديم. ودرّس Lima et al. [30] استهلاك بنى المعطيات للطاقة في البرامج الوظيفية المتسايرة. ومع أنهم وجدوا أنه لا يوجد خياراً فائزاً واضحاً على المستوى العام، فإنه في ظروف معيّنة، يمكن أن يؤدي اختيار بدئية (primitive) تشارك في المعطيات (MVar)، بدلاً من بدئية أخرى (TMVar)، إلى اقتصاد 60% من الطاقة.

البرمجة المتوازية. كانت تقنيات البرمجة المتوازية أيضاً موضوع العديد من الدراسات. فقد لاحظ Pinto et al. [46] أن إطار العمل المتوازي العالي المستوى، المعتمد على "اختطاف العمل work-stealing"، هو "أكثر صداقةً للطاقة عند إجراء العمليات الحسابية المستهلكة بشدة لوحدة المعالجة المركزية على مستوى الخبيبية الدقيقة، منه في حالة التنجيز المعتمد على الدقائق (threads). ومع ذلك، اقترح Ribic و Liu مجموعة من أنظمة زمن التنفيذ runtime لتحسين فعالية الطاقة للحسابات المستهلكة بشدة لوحدة المعالجة المركزية على مستوى الخبيبية الدقيقة [49،50]. ولتحسين درجة الاقتصاد في الطاقة التي دلت عليها هذه الدراسات، يُعتقد أنه يمكن مكاملة الاقتصاد في الطاقة هذا في أنظمة زمن التنفيذ المعروفة، مثل آلة جافا الافتراضية (JVM). عندئذٍ تستفيد السلسلة المكونة من: لغات البرمجة والأنظمة البرمجية والمستعملون النهائيون، التي تعتمد على الآلة JVM، من هذه النتائج.

ومع أن هذه الدراسات تعطي مجموعة نتائج شاملة، وذات آثارٍ عملية وتوقيتٍ مناسب، ومفيدة لتخفيف مشكلة نقص المعرفة، فإنها بعيدة كل البعد عن شمولها لكل طيف لبنات لغات البرمجة ومكتباتها.

جودة البرمجيات واختبار البرمجيات. تتناول مناقشتنا هنا اختبار البرمجيات وتقنيات تقليبة (debugging) البرمجيات. *اختبار البرمجيات.* ثمة عدد من الدراسات التي تهدف إلى تحديد وصف العثرات (bugs) الطاقية (على سبيل المثال، Pathak et al. [44])، لكن عدد الدراسات التي تقترح تقنيات اختبار جديدة مُتنبّهة للطاقة قليل نسبياً [18،21،27]. قدّم Ding et al. [27] تقنيةً تسمح بتخفيض استهلاك الطاقة إلى الحد الأدنى، منجزةً بطعم اختبارٍ مُجدٍ طاقياً، يمكن استعمالها لإجراء اختبارٍ ما بعد النشر على الأنظمة المضمنة. تشير النتائج إلى أن هذه الطريقة ترفع نسبة تخفيض استهلاك الطاقة إلى أكثر من 95% من الطاقة التي يستهلكها طعم الاختبار الأصلي. وبالمثل، يقدم Jabbarvand et al. [18] نهجاً آخر لتخفيض استهلاك الطاقة إلى الحد الأدنى بواسطة طعم اختبارٍ، لكنه يركز على تطبيقات أندرويد. أشار المؤلفون إلى تحقيق انخفاض

بنسبة 84% وسطياً، مع الحفاظ على فاعلية كشف العثرات. يقترح Kan [21] نهجاً مشابهاً، يستعمل فيه تقنية DVFS⁶ لخفض التردد عند تشغيل أطقم الاختبار. ومع أن بعض الباحثين يرون أن تقنيات DVFS يمكن أن تؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة ونقصان الأداء [34]، فإن المؤلفين يبينون أنه يمكن تحقيق اقتصاد كبير في الطاقة. اقترح Banerjee et al. [4] تقنية تولّد دخل اختبار يُحتمل أن يلتقط عثراتٍ طاقية. تركّز هذه التقنية على إنشاء اختبارات تستعمل مكونات الدخل/الخرج، التي تُعدّ أحد المصادر الرئيسية لاستهلاك الطاقة في الهاتف الذكي [7,43].

بعد هذه النتائج الأولية الواعدة، يُعتقد أنّ تقنيات الاختبار الجديدة سوف تُقيّم من حيث استهلاك الطاقة. وفي أحسن الأحوال، سيصبح اختبار الطاقة مجالاً للبحث، فثمة مجالات اهتمام عديدة محتملة يمكن تصوّرها. أحدها ما نسميه "التوكيدات الخضراء"، أي إمكان تحديد ميزانية طاقية energy budget بحيث تجزم حالة الاختبار كون الحساب مراعيًا لتلك الميزانية أم لا. وتكون نتيجة الاختبار "الإخفاق" إذا كانت الطاقة المستهلكة أكبر من الميزانية المقترحة. على سبيل المثال، يدلّ مقتطف الرمز الآتي:

```
double max-Energy = 200;
assertTrue(render(), expected, maxEnergy);
```

على أن الطريقة render() ينبغي أن تستهلك 200 جول على الأكثر. يمكن إدخال تحسينات إضافية على هذه التقنية لتشمل خصائص عتاديات أخرى، على سبيل المثال، الجزم بكون حساب معطى يستهلك 100 جول للاتصال الشبكي أو 50 جول لاستعمال وحدة المعالجة المركزية.

تقلية البرمجيات. يستعمل الممارسون عادةً أدوات تقليية لالتقاط العثرات الموجودة في صياغة البرنامج. ومع ذلك، فإن تقليية قطعة من الرمز غير مُجدية طاقياً هي أكثر تحدياً من التقليية التقليدية، لأن عدم الكفاءة هذه تعتمد على المعلومات السياقية المتعلقة بمكان تشغيل البرنامج، مثل حالة التجهيزات العتادية. في هذا الصدد، يقترح Banerjee وزملاؤه [5] إطار عمل لتقليية الإخفاق المتعلق باستهلاك الطاقة في تطبيقات الجوال. وجد المؤلفون أن الأدوات تساعد على تحديد مكان العثرات الطاقية في مدة قصيرة، حتى في حالة تطبيقات أندرويد غير العادية. ولاحظوا أن اقتصاد الطاقة يبلغ حتى 29% بعد إصلاح العثرة الطاقية. يقترح Pathak et al. [43] تقنية eprof، وهي تقنية تلميح دقيقة الخبيبة لاستهلاك الطاقة، للتطبيقات التي تشغّل في الهواتف الذكية. يركّز Pathak et al. [4]، على غرار أعمال Banerjee وزملائه، على فهم استدعاءات النظام المرتبطة بعمليات الدخل/الخرج ومراقبتها. وقد وجدوا أن معظم الطاقة المستهلكة في التطبيقات المجانية مرتبطة بالمجترآت الإعلانية التابعة لطرف ثالث (التي يمكن أن تكون مسؤولة عن 75% (في حدها الأعلى) من إجمالي الطاقة التي يستهلكها التطبيق). يستعمل Oliner et al. [40] منهجية صندوق أسود تعاونية تتضمن طريقةً لتشخيص الحالات الشاذة، وتقدّر قسوتها، وتحديد ميزات التجهيزة التي تؤدي إلى هذه الحالة الشاذة. وبالاعتماد على الملاحظات الراجعة من الأداة المقترحة، حسّن المستعملون من عمر البطارية بمعدل 21%.

⁶ Dynamic voltage and frequency scaling (DVFS)، القياس الديناميكي للجهد والتردد (DVFS) يعتمد ضبط إعدادات الطاقة والسرعة في المعالجات المختلفة لتحسين تخصيص الموارد للمهام وزيادة الاستفادة من الطاقة إلى أقصى حد عند عدم الحاجة إلى تلك الموارد. (المترجم)

يُعتقد أن أدوات التقلية ستكون قادرةً على فحص استهلاك الطاقة للبيئات البرامج على مستوى الحبيبية الدقيقة في زمن التنفيذ، وقادرةً عمومًا على تعرف القيمة التي نُسبت إلى متغيرٍ معين. يمكن أن تذهب أدوات التقلية إلى أبعد من ذلك، فتسلط الضوء على سطور الرماز المستهلكة بشدة لوحدة المعالجة المركزية، أو الطرائق المستهلكة بشدة للذاكرة، بحيث يمكن للمطورين إعادة بناء سطور الرماز هذه بطريقة عالمية بالطاقة. يمكن لأدوات الاختبار والتقلية الجديدة المتعلقة بالطاقة أن تخفف من نقص الأدوات.

الخلاصة

يمثل استهلاك الطاقة مشكلةً كبرى مكان، وستتطلب السنوات القادمة من المطورين أن يكونوا أشد وعيًا بها. لكن المطورين حاليًا لا يستوعبون استيعابًا كاملًا كيفية كتابة الأنظمة البرمجية المُجدية طاقيًا وصيانتها وترقيتها. اقترح البحث الدراسة هذه بسبب مسألتين في المقام الأول: نقص المعرفة ونقص الأدوات. وضعت المقالة هاتين المسألتين في الاعتبار لدى استعراضها معظم المساهمات الحديثة المتعلقة بالطاقة في مجتمع هندسة البرمجيات، وناقشت تطوّر أبحاث استهلاك البرمجيات للطاقة الرامية لتخفيف وطأة هاتين المسألتين، وسلطت الضوء، في المكان المناسب، على الفجوات البحثية الرئيسية التي تحتاج إلى اهتمام أفضل.

المراجع

- [1] Abran, A., Bourque, P., Dupuis, R., and Moore, J.W., editors. Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK), 2001.
- [2] Aggarwal, K., Hindle, A., and Stroulia, E. GreenAdvisor: A tool for analyzing the impact of software evolution on energy consumption. In Proceedings of ICSME (Sept. 2015), 311–320.
- [3] Aggarwal, K., Zhang, C., Campbell, J.C., Hindle, A., and Stroulia, E. The power of system call traces: Predicting the software energy consumption impact of changes. In Proceedings of CASCON, 2014, 219–233.
- [4] Banerjee A., Chong, L.K., Chattopadhyay, S., and Roychoudhury, A.. Detecting energy bugs and hotspots in mobile apps. In Proceedings of ESEC/FSE, 2014, 588–598.
- [5] Banerjee, A. and Roychoudhury, A. Automated re factoring of android apps to enhance energy-efficiency. In Proceedings of MOBILESoft, 2016, 139–150.
- [6] Bruce, B.R., Petke, J., and Harman, M. Reducing energy consumption using genetic improvement. In Proceedings of GECCO, 2015, 1327–1334.
- [7] Carroll, A. and Heiser, G. An analysis of power consumption in a smartphone. In Proceedings of USENIX, 2010.
- [8] Chowdhury, S.A. and Hindle, A. Greenoracle: Estimating software energy consumption with energy measurement corpora. In Proceedings of MSR, 2016, 49–60.
- [9] Chowdhury, S.A., Sapra, V, and Hindle, A. Client-side energy efficiency of HTTP/2 for web and mobile app developers. In Proceedings of SANER, 2016, 529–540.
- [10] Corral, L., Georgiev, A.B., Sillitti, A., and Succi, G. Method reallocation to reduce energy consumption: anan implementation in android OS. In Proceedings of SAC, 2014, 1213–1218.
- [11] Couto, M., Carcao, T., Cunha, J., Fernandes, J.P., and Saraiva, J. Detecting anomalous energy consumption in android applications. In Proceedings of SBLP, 2014, 77–91.
- [12] Cruz, L., Abreu, R., and Rouvignac, J.-N. Leafactor: Improving energy efficiency of android apps via automatic refactoring. In Proceedings of MobileSoft, (Buenos Aires, Argentina, 2017).
- [13] Fernandes, B., Pinto, G., and Castor, F. Assisting non-specialist developers to build energy-efficient software. In Proceedings of the Companion to the 39th International Conference on Software Engineering, (Buenos Aires, Argentina, 2017).
- [14] Fraser, S., Murphy-Hill, E., Wild, W., Yoder, J., and Zhu, B.Q. Going green with refactoring: Sustaining the ‘worldwide virtual machine.’ In Proceedings of OOPSLA, 2011, 171–174.

- [15] Gelenbe, E. and Caseau, Y. The impact of information technology on energy consumption and carbon emissions. *Ubiquity*, (June 2015) 1–15.
- [16] Hasan, S., King, Z., Hafiz, M., Sayagh, M., Adams, B., and Hindle, A. Energy profiles of Java collections classes. In *Proceedings of ICSE, 2016*, 225–236.
- [17] Hindle, A., Wilson, A., Rasmussen, K., Barlow, E.J., Campbell, J.C., and Romansky, S. Greenminer: A hardware based mining software repositories software energy consumption framework. In *Proceedings of MSR, 2014*, 12–21.
- [18] Jabbarvand, R., Sadeghi, A., Bagheri, H., and Malek, S. Energy-aware test-suite minimization for android apps. In *Proceedings of ISSTA, 2016*, 425–436.
- [19] Oliveira Jr., W.O.R., and Castor, F. A study on the energy consumption of android app development approaches. In *Proceedings of MSR (Buenos Aires, Argentina, 2017)*.
- [20] Kambadur, M. and Kim, M.A. An experimental survey of energy management across the stack. In *Proceedings of OOPSLA, 2014*, 329–344.
- [21] Kan, E.Y.Y. Energy efficiency in testing and regression testing—A comparison of DVFS techniques. In *Proceedings of QSIC '13, 2013*, 280–283.
- [22] Khalid, H., Shihab, E., Nagappan, M., and Hassan, A.E. What do mobile app users complain about? *IEEE Software* 32, 3 (2015), 70–77.
- [23] Kwon, Y. and Tilevich, E. Reducing the energy consumption of mobile applications behind the scenes. In *Proceedings of ICSM, 2013*, 170–179.
- [24] Li, D. and Halfond, W.G.J. An investigation into energy- saving programming practices for android smartphone app development. In *Proceedings of GREENS 2014*, 46–53.
- [25] Li, D., Hao, S., Gui, J., and Halfond, W.G.J. An empirical study of the energy consumption of Android applications. In *Proceedings of ICSME, 2014*, 121–130.
- [26] Li, D., Hao, S., Halfond, W.G.J., and Govindan, R. Calculating source line level energy information for android applications. In *Proceedings of ISSTA, 2013*, 78–89.
- [27] Li, D., Jin, Y., Sahin, C., Clause, J., and Halfond, W.G.J. Integrated energy-directed test suite optimization. In *Proceedings of ISSTA, 2014*, 339–350.
- [28] Li, D., Lyu, Y., Gui, J., and Halfond, W.G.J. Automated energy optimization of http requests for mobile applications. In *Proceedings of ICSE, 2016*, 249–260.
- [29] Li, D., Tran, A.H., and Halfond, W.G.J. Making we applications more energy efficient for OLED smartphones. In *Proceedings of ICSE, 2014*, 527–538.
- [30] Lima, L.G., Soares-Neto, F., Lieuthier, P., Castor, F., Melfe, G., and Fernandes, J.P. Haskell in green land: Analyzing the energy behavior of a purely functional language. In *Proceedings of SANER, 2016*, 517–528.
- [31] Linares-Vasquez, M., Bavota, G., Bernal-Cardenas, C., Oliveto, R., Di Penta, M., and Poshyvanyk, D. Mining energy-greedy api usage patterns in android apps: An empirical study. In *Proceedings of MSR, 2014*, 2–11.
- [32] Linares-Vasquez, M., Bavota, G., Bernal-Cardenas, C., Oliveto, R., Di Penta, M., and Poshyvanyk, D. Optimizing energy consumption of GUIs in android apps: A multi- objective approach. In *Proceedings of ESEC/FSE, 2015*, 143–154.
- [33] Liqat, U., et.al. Energy consumption analysis of programs based on XMOS isa-level models. In *Proceedings of the 23rd International Symposium on Logic-Based Program Synthesis and Transformation, 2013*, 72–90.
- [34] Liu, K., Pinto, G., and Liu, Y.D. Data-oriented characterization of application-level energy optimization. In *Proceedings of FASE, 2015*.
- [35] Malik, H., Zhao, P., and Godfrey, M.W. Going green: An exploratory analysis of energy-related questions. In *Proceedings of MSR, 2015*, 418–421.
- [36] Manotas, I., et al. An empirical study of practitioners' perspectives on green software engineering. In *Proceedings of ICSE, 2016*, 237–248.
- [37] Manotas, I., Pollock, L., and Clause, J. Seeds: A software engineer's energy-optimization decision support framework. In *Proceedings of ICSE, 2014*, 503–514.
- [38] Moura, I., Pinto, G., Ebert, F., and Castor, F. Mining energy- aware commits. In *Proceedings of MSR, (2015)*, 56–67.
- [39] Murphy-Hill, E., Zimmermann, T., and Nagappan, N. Cowboys, ankle sprains, and keepers of quality: How is video game development different from software development? In *Proceedings of ICSE, 2014*, 1–11.
- [40] Oliner, A.J., Iyer, A.P., Stoica, I., Lagerspetz, E., and Tarkoma, S. Carat: Collaborative energy diagnosis for mobile devices. In *Proceedings of the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2013*, 10:1–10:14.

- [41] Othman, M. and Hailes, S. Power conservation strategy for mobile computers using load sharing. SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev. 2, 1 (Jan. 1998), 44–51.
- [42] Pang, C., Hindle, A., Adams, B., and Hassan, A.E. What do programmers know about software energy consumption? IEEE Software 33, 3 (2016), 83–89.
- [43] Pathak, A., Hu, Y.C., and Zhang, M. Where is the energy spent inside my app? Fine grained energy accounting on smartphones with eprof. In Proceedings of EuroSys, 2012, 29–42.
- [44] Pathak, A., Jindal, A., Hu, Y.C., and Midkiff, S.P. What is keeping my phone awake? Characterizing and detecting no-sleep energy bugs in smartphone apps. In Proceedings of MobiSys, 2012, 267–280.
- [45] Pinto, G., Castor, F., and Liu, Y.D. Mining questions about software energy consumption. In Proceedings of MSR, 2014, 22–31.
- [46] Pinto, G., Castor, F., and Liu, Y.D. Understanding energy behaviors of thread management constructs. In Proceedings of OOPSLA, 2014, 345–360.
- [47] Pinto, G., Liu, K., Castor, F., and Liu, Y.D. A comprehensive study on the energy efficiency of Java thread-safe collections. In Proceedings of ICSME, 2016.
- [48] Pinto G., Soares-Neto, F., and Castor, F. Refactoring for energy efficiency: A reflection on the state of the art. In Proceedings of GREENS, 2015.
- [49] Ribic, H. and Liu, Y.D. Energy-efficient work-stealing language runtimes. In Proceedings of ASPLOS, 2014, 513–528.
- [50] Ribic, H. and Liu, Y.D. Aequitas: Coordinated energy management across parallel applications. In Proceedings of the 2016 International Conference on Supercomputing, 2016, 4:1–4:12.
- [51] Saborido, R., Arnaudova, V., Beltrame, G., Khomh, F., and Antoniol, G. On the impact of sampling frequency on software energy measurements. PeerJ PrePrints, 2015, 3:e1219.

المؤلفان

غستافو بينتو (gpinto@ufpa.br) أستاذ مساعد بجامعة بارا الفيديرالية بالبرازيل.
فرناندو كاستر (castor@cin.ufpe.br) أستاذ مشارك بجامعة بيرنامبوكو الفيديرالية (Pernambuco) بالبرازيل.

قائمة المصطلحات 1

LIST OF TERMS

إعداد: د. نزار الحافظ

واقع افتراضي ثلاثي الأبعاد	3D virtual reality
صف تجريدي	abstract class
النفاذية (قابلية النفاذ)	accessibility
كُتَبُ الحسابات المستحقّة الدفع	accounts-payable clerks
كُتَبُ الحسابات المستحقّة القبض	accounts-receivable clerks
تصميم جمالي	aesthetic design
إجرائية رشيقة	agile process
تطوير رشيق للبرمجيات	agile software development
إجرائيات رشيقة لتطوير البرمجيات	agile software-development processes
تحصيل الوظائف	allocation of functions
تحليل المصفوفات إلى عوامل بطريقة أقل الترتيبات المتناوبة	Alternating Least Squares (ALS) matrix factorization
واسم	annotator
إغفال/استغفال الهوية	anonymity/anonymization
غُفْل (مجهول المصدر، مجهول الهوية)	anonymous
تطبيقات صغيرة	applets
واجهة برمجية للتطبيقات	Application Programming Interface (API)
برامج التدريب المهني	apprenticeship programs
نموذجي	archetypal
كثافة مساحية	areal density
الذكاء الصنعي	artificial intelligence
شبكات عصبونية صناعية	artificial neural networks

¹ تتضمن مصطلحات مقالات الأعداد من 54 حتى 58.

دائرة متكاملة لتطبيقٍ محدّد (محددة بحسب التطبيق)	ASIC (application-specific integrated circuit)
دعاية شعبية زائفة	astro turf
تتافل لامتزامن	asynchronous handoff
التدريب اللامتزامن	asynchronous training
ائتمار مسموع ومرئي	audio and video conferencing
تدقيقية	auditability
حقيقة مزيدة	augmented reality
قوائم الإكمال التلقائي (الإتمام الذاتي)	autocomplete menus
نافذة منبثقة للإتمام الذاتي	autocomplete popup
معالج الأتومات	automata processor
شبكة مستقلة ذاتياً	autonomic network
مهام مستقلة	autonomous tasks
مراقب الصغار	baby monitors
فحص الخلفية	background check
منافسة	bake-off
تقنية الخط القاعدي	baseline technique
دُفعة (دُفعية)	batch
هبوط تدرّجي دُفعي	batch gradient descent
عمل دُفعي	batch job
لائحة تفقّد سلوكية	behavior checklist
قياس الأداء	benchmark
المختبر بيتا	beta-tester
لغة كتل	block language
أشياء رائجة	blockbusters
واجهة كتلية التوجّه	blocks-oriented interface
روابط بلوتوث	Bluetooth connections
أخلاقيات البوت	Bot Ethics
شبكة ربوطية	botnet
النفذ العريض الحزمة	broadband access
مسافرون محدودو الميزانية	budget travelers
وسائل كشف العثرات	bug checkers

برنامج تحكُّم مُضمَّن	built-in control program
تطبيقات متعلقة بالأعمال	business applications
فقايع ثُمانيَّة	byte blobs
دفق ثُمانيّ	byte stream
سُلطة مَنح شَهادات	Certificate Authority (CA)
تعرُّف المخزَّف	character recognition
ربوط محادثة	chatbot
تسجيلات الدخول	check-ins
إدراج نقاطٍ تدقيق	checkpointing
تقطيع الرمز	chunking code
نص واضح (غير معمَّى)	clear-text
معطيات دفق النقرات	click-stream data
نقر التثبيث	click-through
عروض نصِّيَّة مغلقة	closed captioning
غُلاقات	closures
الحوسبة السحابية	cloud computing
إفراغ في السحابة	cloud offloading
مزوِّد السحابة	cloud provider
خَزْن سحابي	cloud storage
نقل المعطيات من سحابةٍ إلى سحابةٍ	cloud-to-cloud data transfer
معدن-أكسيد-نصف ناقل متتامين	CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor)
قياساتٌ خشنةٌ الخُببيَّة	coarse-grained measurements
إعادة تنظيم بنية الرمز	code refactoring
إعادة استعمال الرمز	code reuse
قوائم استكمال الرمز	code-completion menus
أبعاد استعرافية	cognitive dimensions
جِمل معرفي	cognitive load
مسح استعرافي سريع	cognitive walkthrough
ترشيح تعاوني	collaborative filtering
آلات متعاونة	collaborative machines

تخزين عمودي	columnar storage
تطبيقات متعلقة بالتجارة	commerce-related applications
تقسيم البرمجيات إلى أجزاء مستقلة	compartmentalization of software
فرق استجابة لطوارئ الحاسوب	Computer Emergency Response Teams (CERT)
مساعدَة مزيدة بالحاسوب	computer-augmented aid
تركيب الكلام بالضم	concatenative speech synthesis
مفاهيمي	conceptual
إدارة الاختناق	congestion management
بُناة	constructors
تطبيقات المستهلكين	consumer applications
التحكُّم في النفاذ إلى المحتوى	content access control
مستهلكو المحتوى	content consumers
إيصال المحتوى	content delivery
شبكة توزيع المحتوى	Content Distribution Network (CDN)
طلبات/بصمات المحتوى	content requests/signatures
تنظيم إصدارات المحتوى	content versioning
ترشيح مُعتمِد على المحتوى	content-based filtering
تشبيك متمرکز حول المحتوى	content-centric networking
خالي من التنازع	contention free
يعي السياق	context-aware
جانِبُ سياقيّ	contextual aspect
دراسات ميدانية في الاستعلام السياقي	contextual inquiry field studies
وعي السياق	contextualization
حواريّ	conversational
أصحاب حقوق النشر	copyright holders
ترائبية مؤسسية	corporate hierarchy
نسبة التكلفة إلى الحزن	cost-to-storage ratio
حسابات مستهلكة بشدة لوحدة المعالجة المركزية	CPU-intensive computations
هدم بناء، تدمير خلاق	creative destruction
روابط تقاطعية	cross links
تدريب/تثبّت تصالبي	cross training/validation
تعهد جماعي	crowdsourcing

بصمات معمّاة	cryptographic signatures
(لغة) كودا (بنيان تجهيزة حسابات موحد)	CUDA (Compute Unified Device Architecture)
معدّلات تخلف الزبائن عن السداد	customer default rates
هجوم سبراني	cyberattack
"بلطجة" سبرانية	cyberbullying
أمن سبراني	cybersecurity
عضو سبراني	cybrog
شبكة مظلمة	dark net
الويب المظلم	dark Web
خابية معطيات	data cache
خروج المعطيات	data egress
نسيان المعطيات	data forgetting
دخول المعطيات	data ingress
منشأ رزمة المعطيات	data packet provenance
سوابق معطيات	data prefixes
استبقاء المعطيات	data retention
شحن المعطيات	data shipping
بصمات معطيات	data signatures
مقاربة متركزة حول المعطيات	data-centric approach
اتجاه تدفق المعطيات	data-flow direction
معدّل نقل المعطيات	data-transfer rate
هجمات رفض الخدمة الموزّع	DDoS (Distributed Denial of Service) attacks
مواعيد نهائية	deadlines
إزالة التكرار	deduplication
التعلم العميق	deep learning
شبكات عصبونية عميقة	Deep Neural Networks (DNN)
الويب العميق	deep Web
منع/رفض الخدمة	Denial of Service (DoS)
أنماط تصميم	design patterns
ميسوق الوجهة	destination drive
رزم ذات وجهة محدّدة	destination-specific packets

تطوير وتشغيل	DevOps
وكيلٌ رَقْمِيّ	digital agent
ابتكارٌ رَقْمِيّ	digital innovation
ثورة رَقْمِيَّة	digital revolution
إدارة حقوق رَقْمِيَّة	Digital Rights Management (DRM)
مسحٌ مُرَقَّم	digitized inventory
ديمقراطية رقمية	digitocracy
تخصصات هندسية	disciplines
دَفَقَات متقطعة	discretized streams
نَسْخُ المعطيات المعتمِد على القرص	disk-based copying out of data
تشبيك متسامح مع الأعطال	disruption-tolerant networking
نشر معلومات	dissemination of information
سرعة تنزيل (المعطيات)	download speed
سَحَب وإفلات	drag-and-drop
سرعة/زمن النسخ بين مِسْوَقيْن	drive-to-drive copy-in/copy-out speed/time
نَسْخُ المعطيات من مسوقٍ إلى مسوق	drive-to-drive data copying
معالج الإشارة الرقمية	DSP (digital signal processor)
تدرج ديناميكي للبطارية والتردد	DVFS (dynamic voltage and frequency scaling)
باعة التجزئة في التجارة الإلكترونية	e-commerce retailers
الفائض الاقتصادي	economic surplus
تسييرٌ بيئي	eco-routing
نظمٌ بيئية	ecosystems
منظومات المراقبة الإلكترونية	electronic monitoring systems
تقنية استخلاص	elicitation technique
التعمية ذات المنحني الناقصي (الإهليلجي)	elliptic curve cryptography
مُجَسَّات مضمَّنة	embedded sensors
استجابة لحالة طوارئ	emergency response
بحث تجريبي	empirical research
باحثون تجريبيون	empirical researchers
تحكُّم في النفاذ المعتمد على التعمية	encryption-based access control
ميزانية طاقة	energy budget

فعالية الطاقة	energy efficiency
شبكات الطاقة	energy grids
مجترًا محلّ ملامح الطاقة	energy profiler module
متنبّه للطاقة	energy-aware
مُجدٍ طاقيًا	energy-efficient
تقانات التعزيز	enhancement technologies
مفتاح قصير الأجل	ephemeral key
ظاهرةً ملحقة	epiphenomenon
معدّل خطأ المساواة	Equal Error Rate (EER)
الحوسبة برتبة إكسا عملية بالثانية	exascale computing
صفٌّ مصدّر	exported class
تجهيزات تعقب اتجاه النظر	eye-tracking devices
صفّ مصنعي	factory class
طريقة مصنعية	factory method
نمط مصنعي	factory pattern
متابع مزيف	fake follower
معدل قبول الخطأ	false acceptance rate
خطأ سلبي	false negative
خطأ إيجابي	false positive
معدل رفض الخطأ	false rejection rate
نوى سميثة	fat cores
تحمل الخلل	fault tolerance
متحمل للخلل	fault-tolerant
سمة	feature
تعلم بإشرافٍ معتمد على السمات	feature-based supervised learning
تعليقات	feedback
مرشّح	filter
ترشيح	filtering
أحداث دقيقة الحبيبية	fine-grained events
مِسوق ومُضَيّ	flash drive
عمليات الفاصلة العائمة في الثانية الواحدة	FLOPs (floating-point operations per second)

متابع	followee
متابع	follower
استراتيجيات الإحالة	forwarding strategies
صفيفة بوابات قابلة للبرمجة حقلياً	FPGA (field programmable gate array)
مِسوق متجزئ	fragmented drive
موجات غابور	Gabor wavelets
اللَّعْبِيَّة (تطبيق تقنيات اللعب)	gamification
ترميز جغرافي	geocoding
معطيات جيولوجية	geodata
معطيات جيوديزية	geodetic data
نظام معلومات جغرافية	Geographic Information System (GIS)
موقع جغرافي	geolocation
خصوصية جغرافية	geoprivacy
عبودية جغرافية	geo-slavery
مكانيّ-جغرافيّ	geospatial
مراقبة جغرافية	geosurveillance
وضع أمارات جغرافية	geotagging
أمارات جغرافية	geotags
مُعتمِد على الإيماءات	gesture-based
أسماء متفردة على المستوى الشمولي	globally unique names
منظومة سائل الملاحة الشمولية	global navigation satellite system
حوكمة (إدارة حكومة)	governance
نظام تحديد الموقع الشمولي	GPS (Global Positioning System)
وحدة معالجة بيانية	GPU (Graphical Processing Unit)
حُبَيْبِيَّة	granularity
مستوى الحُبَيْبِيَّة	granularity level
جداول تقييم بيانية	graphic rating scales
توكيدات خضراء	green assertions
حقيقة أساسية	ground truth
نظام ملفات موزع خاص بـ Hadoop	Hadoop Distributed File System (HDFS)

تتأقلى، تتأقلى	hand-off (adj, noun)
مِسوق القرص الصُّلب	hard-disk drive (HDD)
منصة عتادية	hardware platform
تميز حركة المرور الضارة	harmful traffic discrimination
أمانة مربع	hashtag
التفاعل بين الإنسان والحاسوب	HCI (Human-Computer Interaction)
صفحة تخزين مسوق القرص الصُّلب	HDD platter
حوسبة لامتجانسة	heterogeneous computing
تقويم استكشافي	heuristic evaluation
برمجة كشيبة	heuristic programming
تحصيص تراتبي لعناوين IP (بروتوكول الإنترنت)	hierarchical IP address allocation
مصوّر تجسيمي	hologram
تجسيمي	holographic
تصوير تجسيمي	holography
فخّ مصيدة	honeypot trap
عنوان المضيف	host address
موائمة مسرى المضيف	host bus adapter
مواقع مضيقة	hosting sites
التركيب البشري	human synthesis
واجهتُ تحكُّم بشريّة-ربوطية	human-robot control interface
قدرة النيسبة الفائقة	hyperthreading capacity
تجهيزات قابلة للتعين	identifiable devices
صفوف لامتغيرية	immutable classes
توثيق غير وافٍ	inadequate documentation
علم النفس الصناعي	industrial psychology
ترشيح معلومات	information filtering
عدسة المعلومات	information lens
استحضار المعلومات	information retrieval
تشبيك متمركز حول المعلومات	information-centric networking
غني بالمعلومات	informative
إعلام وترفيه	infotainment

مصنوع محلياً	in-house
إكمال تلقائي مضمّن	in-line autocomplete
تخبيئة/خزّن داخل الشبكة	in-network caching/storage
نموذج البريء بالمرافقة	innocent-by-association model
بيئة تطوير متكاملة	Integrated Development Environment (IDE)
خوارزميات ذكية	intelligent algorithms
ترابط	interconnection
بطاقة واجهة	interface card
مضيف ذو واجهة	interfaced host
توصيلية متقطعة	intermittent connectivity
إنترنت الطاقة	Internet of Energy (IoE)
إنترنت الأشياء	Internet of Things (IoT)
تشغيلية بينية	interoperability
نبرة الكلام	intonation
محلّ مراقبة عمليات الجرد	inventory-control analyst
تحكّم معتمد على عنوان IP	IP-address-based control
مجرد حُفنة من الأقراص	JBOD (Just a Bunch Of Disks)
في الميعاد	just-in-time (JIT)
كلمات رئيسية	keywords
نُظُم إدارة المعرفة	knowledge-management systems
معطيات موسومة بصيقات	labelled data
دراسات مستعملي المختبرات	laboratory user studies
صفحة مقصودة	landing page
تأبث	latency
فهرسة بالدلالة الكامنة	latent semantic indexing
حركة التصنيع الخالية من الهدر	lean manufacturing movement
خط إترنت مؤجّر من رتبة غيغابت	leased Gigabit Ethernet line
إعادة الاستعمال المشروع للمحتوى	legitimate reuse of content
كشف الضوء وتقدير المدى	LiDAR (Light Detection And Ranging)

خطُ نظر	Line Of Sight (LOS)
استعادة معتمدة على النسب	lineage-based recovery
تحليل تمييزي خطي	linear discriminant analysis
خُرُجَ خَطِّي	linear output
معطيات مترابطة	linked data
تغذية فيديو حية	live video feeds
رشاقة	liveness
أنماط ثنائية محلية	local binary patterns
مجتمع محلي	local community
تحديد الموضوع	localization
محلي التشكيل	locally configured
واعٍ للموقع	location aware
معتمد على الموقع	location-based
مشتركون مستوثقة مواقعهم	location-verified subscribers
انحسار لوجستي	logistic regression
المطابقة بأطول سابقة	longest prefix matching
الخزّن المعمى الطويل الأجل	long-term encrypted storage
خُلُو من الحلقات	loop-free
ارتباط منخفض عرض الحزمة	low-bandwidth connection
تعلم آلي	machine learning
سجلات لآلة محددة	Machine-Specific Registers (MSRs)
آثار اقتصادية كبرى	macroeconomic effects
هجوم الرجل الذي في الوسط	man-in-the-middle attack
كثير النوى	manycore
قيود معتمدة على السوق	market-based restrictions
معطيات مطابقة	matching data
سرعة الرفع المستدئمة القصوى	maximum sustained upload speed
أسماء واضحة (ذات معنى)	meaningful names
منصات دفع الوسائط المتعددة	media streaming platforms
طرائق مستهلكة بشدة للذاكرة	memory-intensive methods
تنويه	mention

مساحة وصفية	meta-surface
إعادة تخصيص الطرائق	method reallocation
نَمْنَمَة صِغْرِيَّة (مِكْرَوِيَّة)	microminiaturization
وظائف تتطلَّب مهارة متوسطة	middle-skill jobs
تصميم أدنويّ	minimalist design
سرعة الربط الدنيا بالإنترنت	minimum Internet connection speed
سرعة الرفع الدنيا المستدّيمة للمزوّد ISP	minimum sustained ISP upload speed
منصة حوسبة محمولة	mobile computing platform
التحرّكية (قابلية التحرك)	mobility
شرّ أخلاقي	moral evils
خير أخلاقي	moral goods
إيصال متعدّد الوُجّهات	multicast delivery
متعدد النوى	multicore
معالجات متعددة النوى	multicore processors
نظم متعددة النوى	multicore systems
مقاييس حيوية متعددة الأنماط	multimodal biometrics
واجهة متعدّدة الأنماط	multimodal interface
إحالة على مسارات متعدّدة	multipath forwarding
جودة خدمات متعدّدة المزوّدات	multiprovider QoS
موزّعون متعدّدون	multivendor
صفوف متغيّرة	mutable classes
سوابق الأسماء	name prefixes
تشبيك المعطيات المسماة	named data networking
فضاء الأسماء	namespace
اصطلاحات التسمية	naming conventions
هوائيات نانوية	nanoantennas
علم الفوتونات النانوية	nanophotonics
مقياس نانوي	nanoscale
تجهيزَة الحَزْن الملحَق بالشبكة	NAS (Network-Attached Storage) device
تجوّل	navigation
حيادية الشبكة	network neutrality

تطبيقات/معطيات مشبّكة	networked applications/data
مُحسّات مشبّكة	networked sensors
سياسة الإحالة في الشبكة	network-forwarding policy
رقاقات عصبونية شبكية	neuromorphic chips
عتاديات عصبونية	neuromorphic hardware
عصبونات	neurons
تغذية أخبارية	news feeds
مالكو العُقَد	node owners
الذاكرة التي لا يُلمّ فتاتها	non-garbage-collected memory
أدوار غير علائقية	non-relational roles
ذاكرة لامتلاشية	nonvolatile memory
إفراغ	offloading
تقليد كلفة العلم	omniscient debugging
الإعداد	on-boarding
عملية تقوم بها مرة واحدة	one-shot process
موصول بالخط	online
أسماء مُبهمة	opaque names
لغة الحوسبة المفتوحة	OpenCL (open computing language)
استمثالات	optimizations
أصول مؤسسية	organizational assets
علم النفس المؤسسي	organizational psychology
منظومات اجتماعية مؤسسية	organizational social systems
معطيات يتيمة	orphaned data
تنفيذ خارج الترتيب	out-of-order execution
مُعَهَدون خارجيون	outsourcers
شحن سريع	overnight shipping
أصونة (جمع: صِوان) للرمز	packet buffers
حُببِيَّة الرَّم	packet granularity
تمحيص الرَّم	packet inspection
ترصُد الرَّم	packet sniffing

ترتيب الصفحات	page rank
حوسبة متوازية	parallel computing
تحرير متواقت مُوازٍ	parallel simultaneous editing
تحليل نحويّ	parsing
مُجسّات أمنية تحت الحمراء سلبية	passive infrared security sensors
رُقعة	patch
فعاليات متّصلة بالأداء	performance-related activities
مسرى ترابط المكونات الطّرفية السريع	Peripheral Component Interconnect (PCI) Express
خازنات دائمة (مداومة)	persistent repositories
خُزن متغلغل	pervasive storage
تَصيّدٌ سبراني	phishing
صُوتيم (ج: صُوتيمات)	phoneme(s)
خلايا كهروضوئية	photovoltaic cells
فوتوفولطائيات	photovoltaics
أنبوب	pipeline
بتمرير أنبوبي	pipelined
تمرير أنبوبي	pipelining
بنية أساسية للمفاتيح العمومية	PKI (Public Key Infrastructure)
تمشيطُ مستوٍ	plane-sweep
تأشير ونقر	pointing & clicking
تنبؤ لاحق	postdiction
منشورات	posts
آلة نفاذ عشوائي متوازٍ	PRAM (Parallel Random Access Machine)
إسنادية	predicate
تحليل المكونات الرئيسية	Principal Components Analysis (PCA)
مُلَمَح (ج: مَلامح)	profile
حقن الملامح	profile injection
محلل ملامح	profiler
تحليل ملامح	profiling
تنغيم	prosody
كدسة البروتوكولات	protocol stack

مقياس جودة	quality metric
الذاتُ كميًّا	quantified self
يرتّب	rate (vb)
ترتيبات	ratings
القدرة الحِصانية للحساب الخام	raw compute horsepower
مجموعات معطيات موزّعة مرنة	resilient distributed datasets
مقروئية	readability
خابية قراءةٍ أماميةٍ (من الأمام)	read-ahead cache
معطيات حركة السير في الزمن الحقيقي	real-time traffic data
تذكُّر	recall
تمييز	recognition
نظام توصية	recommender system
إعادة البناء	refactoring
تهذيب	refinement
أدوار علائقية	relational roles
درجة الصلة	relevance score
تبادل معطيات قائم على الطلب/الاستجابة	request/response data exchange
نماذج بحثية أولية	research prototypes
قدرة على الصمود، تكيف	resilience
بيئة مقيدة الموارد	resource-constrained environment
إعادة تغريد (أو تغريدة معادة)	retweet
هندسة عكسية	reverse engineering
تأريخ المراجعة	revision history
التقانة الروبوتية	robotic technology
علاقات الأدوار	role relations
مجموعة أدوار	role set
جذر متوسط مربع الخطأ	root mean squared error
مدة الجولة	round trip time
توجيه	routing
قواعد تجريبية	rules of thumb

المتوسط الحالي لحدود القدرة	running average power limit
وقت التنفيذ	runtime
منظومات التحكم المراقب وتحصيل المعطيات	SCADA (Supervisory control and data acquisition)
التصُّدية	scalability
قابل للتصُّد	scalable
توجيه متصُّد	scalable routing
أمانة علمية	sci-fi (scientific fidelity)
(بروتوكول) طبقة القَبس الآمن	Secure Socket Layer (SSL)
أزمنة نَشْدان	seek times
إقفال انتقائي	selection locking
مراقبة انتقائية	selective monitoring
شفاء ذاتي	self-healing
منظومات ذاتية التشغيل	self-initiated systems
تصنيف دلالي	semantic classification
أخطاء دلالية	semantic errors
برمجة تسلسلية (تتابعية)	sequential programming
تتأقُل متسلسل	serial handoff
بنيان موجَّه بالخدمات	Service-Oriented Architecture (SOA)
مظارف	shells
نسبة الإشارة إلى الضجيج	Signal-to-Noise Ratio (SNR)
تحرير متواقت	simultaneous editing
كتابة متواقتة	simultaneous writing
الوعي الظرفي	situational awareness
برمجة متوازية هيكلية	skeletal parallel programming
واجهة النظام الحاسوبي الصغير	Small Computer System Interface (SCSI)
شبكة الكهرباء الذكية	smart grid
آلات البيع الذكيَّة	smart vending machines
بوت (ربوط) اجتماعي	social bot
بيان اجتماعي	social graph
وسائط التواصل الاجتماعي	social media

طقم تطوير البرمجيات	Software Development Kit (SDK)
استهلاك البرمجيات للطاقة	software energy consumption
دليل معارف هندسة البرمجيات	Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK)
أنماط برمجية	software patterns
نتائج صغرية مفعلة برمجياً	software-enabled micro-feedback
قرص/مِسْوَق الحالة الصلبة	Solid-State Disk/Drive (SSD)
بريد واغل، رسالة واغلة	spam
ربوط واغل	spambot
حساب مُخلخل	sparse computation
حوسبة مكانية	spatial computing
مكاني-زمني	spatiotemporal
تنفيذ تحزري	speculative execution
تركيب الكلام	speech synthesis
دارات ناتئية	spiking circuitry
معطيات مننّخة	spoofed data
كدسة	stack
تأهب	stand-by
أداة/تجهيزة/وسط/شريط خزن	storage appliance/device/medium/tape
ذواكر من صنف التخزين	storage class memories
دَفَق (دُقعية)	streaming
معطيات مُهيكلة	structured data
عرض السّلمية الفائقة	superscalar width
تنبؤات العرض والطلب	supply-and-demand forecasts
ثقافات (مؤسسية) مساندة	supportive (organizational) cultures
دراسة مسحية	survey
متعدد الأسماء	sybil
مقطع صوتي	syllable
التركيب النحوي	syntax
نافذة زمن توقّف للنظام	system-downtime window
لُوحات، تجهيزات لوحية	tablets

تعليم أمارات	tagging
طاقة ذيلية	tail energy
طلب إزالة المحتوى (من موقع الوب)	takedown notice
إدارة المواهب	talent management
بنية محميّة من العبث	tamper-proof construction
خرائط الشرائط	tape cartridges
مِسْوَق الشريط	tape drive
مستعملون مستهدفون	target users
الإعلان الموجّه	targeted advertising
ابتكار تقني	technological innovation
التعليم المنقول بالتقانة	technology-delivered instruction
تغيّرات مَفوَدَة بالتقانة	technology-driven changes
منظومات الحضور من بُعد	telepresence systems
وحدة معالجة المُوتِرات	tensor processing unit (TPU)
ترانزستور مفعول الحقل النفقي	TFET (tunneling field effect transistor)
باحثون نظريّون	theoretical researchers
تقييم قائم على التفكير الجهُوري	think-aloud evaluation
مزود طرفٍ ثالث	third-party provider
بنية معطيات آمنة للدقة	thread-safe data structure
عَتَبِيّ	threshold (adj)
عرض مرئي للخط الزمني	timeline visualization
معلومة زمن البقاء	time-to-live information
صِوان التحويل بالبحث الجانبي	TLB (Translation Look-aside Buffer)
الحوسبة التقليدية	traditional computing
نيسب، دققة	tread
بيئة تنفيذ موثوقة	trusted execution environment
تغريد (أو تغريدة)	tweet
قنبلة تويتر	twitter bomb
عميم الوجود (منتشر في كل مكان)	ubiquitous
الحوسبة العميمة الوجود	ubiquitous computing
وجود عميم (انتشار في كل مكان)	ubiquity

فكّ التعمية غير المرخص	unauthorized decryption
غير أخلاقي	unethical
معطيات غير مُهيكلَة	unstructured data
سرعة/زمن رفع (المعطيات)	upload speed/time
عُقَدٍ منبع	upstream nodes
عقبات الاستعمالية	usability barriers
مسرى تسلسلي عميم	USB (Universal Serial Bus)
معلومات راجعة من المستعمل	user feedback
سهولة الاستعمال	user friendliness
تطوير محوره المستعمل	user-centric development
ضباط واجهة المستعمل	user-interface widgets
نفعية	utility
نفعي التوجه	utility-oriented
شبكات مخصّصة للمركبات	VANETs (vehicular ad hoc networks)
تفاعل/تأثر افتراضي	virtual interaction
تجهيزات الواقع الافتراضي	virtual reality devices
واضعو الرؤى	visionaries
إظهار مرئي	visualization
تكامل وسيع نطاق	VLSI (very-large-scale integration)
صائت (ج: صوائت)	vowel
تجهيزات حوسبة لبوسة (قابلة للارتداء)	wearable computing devices
مُجسات لبوسة (قابلة للارتداء)	wearable sensors
تقانة لبوسة (قابلة للارتداء)	wearable technology
معتد على الوب	web-based
نماذج قائمة على شبكة ثقة	web-of-trust models
وظائف مكتبية	white-collar jobs
هوائي لاسلكي	wireless antenna
معطيات محجوبة	withheld data
يحبج	withhold (vb)
جمل (ج: أحمال)	workload(s)