الثقافة المعلوماتية

مجلة دورية تصدرها الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية

السنة التاسعة عشرة – العدد الخمسون– أيلول "سبتمبر"/كانون الأول "ديسمبر" 2015

ملف العدد: تداول المعطيات الضخمة

ويكيداتا: قاعدةُ معرفةٍ تشاركيةٌ مَجّانية

المعطيات الضخمة تلتقي مع العلوم الضخمة

قوة الذاكرة

الأبحاث الأخرى

كيف تغيّر الحواسيبُ علم الأحياء؟

الحساب يَستغرق زمناً، ولكن كم هو؟

عرض تاريخي لموضوع تَعَرُّفِ الكلام

وعي المجموعة في هندسة البرمجيات العالمية

قائمة المصطلحات

الثقافة المعلوماتية

مجلة دورية تصدرها الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية

السنة التاسعة عشرة – العدد الخمسون– أيلول "سبتمبر"/كانون الأول "ديسمبر" 2015

رئيس التحرير:

الدكتور موفق دعبول

هيئة التحرير:

الدكتور سعد الله آغا القلعة

الدكتور سامح جزماتي

الدكتور نزار الحافظ

الدكتور راكان رزوق

الدكتور حسان ريشة

الدكتور عماد الصابوني

الدكتورة ندى غنيم

الدكتور منصور فرح

الدكتور محمد مراياتي

أمينة التحرير:

هيفاء باكير

للمراسلات:

الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية

مجلة الثقافة المعلوماتية

دمشق – الجمارك – بجانب وزارة التعليم العالي

ص.ب. 33492 – سورية

هاتف: **2116155**

فَكس: **2127998**

بريد إلكتروني: nzhafez@scs-net.org

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

الإخراج الفني والمعالجة: **مركز الفوال للفرز والمونتاج الإلكتروني**

عزيزي القارئ،

اخترنا لهذا العدد ثلاثة بحوث تحت العنوان **تداول المعطيات الضخمة**، هي: "*ويكيداتا: قاعدةُ معرفةٍ تشاركيةٌ مَجّانية*"، "*المعطيات الضخمة تلتقي مع العلوم الضخمة*"، "*قوة الذاكرة*".

يتحدث **البحث الأول** (ويكيداتا: قاعدةُ معرفةٍ تشاركيةٌ مَجّانية) عن قاعدة ويكيداتا، وهي موسوعةٍ جديدةٍ متعدِّدة اللغات من ويكيبيديا ذات المعطيات، التي تجمع مقاديرَ متزايدةً من معطيات بنيوية. يشير المقال إلى التناقضات في المعطيات ومن ثَم إلى قرارات تصميمية في منهجية قاعدة ويكيداتا لإدارة المعطيات على نطاقٍ عالمي، تتضمن: نظام SMW الدلالي، قابلية التحرير من عامة الناس، استخلاص المعلومات من طبقات ويكيبيديا. يعطي المقال لمحة تاريخية إلى ويكيداتا، وتحدياتها، وتطبيقاتها، ومستقبلها.

يتناول **البحث الثاني** (المعطيات الضخمة تلتقي مع العلوم الضخمة) المشكلة التي يفرضها توليد المعطيات بحجوم ضخمة جدًا المتعلقة بالعلوم، كالصور التي يلتقطها تلسكوبُ المراقبة LSST المزوَّد بكمرة فائقة الدقة، أو المعطيات التي تولدها التجاربُ العلمية العالية القدرة ذات النطاق الواسع (LHC, ATLAS، ...)، التي لا تستطيع حتى الحواسيب الفائقة القدرة والأكثر غزارة في التوازي معالجتها. ويستعرض بعضًا من الجهود الجارية لمساعدة الباحثين على معالجة تلك المعطيات الضخمة.

يسلِّط **البحث الثالث** (قوة الذاكرة) الضوء على قواعد المعطيات التي تعالج في الذاكرة مباشرة بدلاً من جلبها من القرص. ويتناول أهمية ذلك خصوصاً التسريع الذي يتحقق للمبادلات مع الزبائن ولتحليلات المعطيات الضخمة. ويسلط الضوء على التكلفة في حال انقطاع الطاقة عن الذاكرة أثناء المعالجة ويعطي حلولًا تَعتمد على النسخ الاحتياطي.

واخترنا أيضاً لهذا العدد أربعة بحوث متنوعة المواضيع مثيرة للاهتمام هي على الترتيب: "*كيف تغيّر الحواسيبُ علم الأحياء؟*"، "*الحساب يَستغرق زمناً، ولكن كم هو؟*"، "*عرض تاريخي لموضوع تَعَرُّفِ الكلام*"، "*وعي المجموعة في هندسة البرمجيات العالمية*".

يستعرض **أول هذه البحوث** (كيف تغيّر الحواسيبُ علم الأحياء؟) تأثرَ علم الأحياء على نحوٍ غير مسبوق بتطورِ الحوسبة والنماذجِ الحاسوبية والمحاكاةِ المتزايدة التعقيد، وتطورَ عِلم الأحياء الحسابي والمعلوماتية الحيوية. ويتطرق إلى أبرز التطورات التي نمت بفضل علم الأحياء الحسابي والمعلوماتية، مثل تحليل تسلسلات DNA وتصميم العقاقير الصيدلانية.

يدرس **ثانيها** (الحساب يَستغرق زمناً، ولكن كم هو؟) مشكلةَ تحليل زمن تنفيذ برامج الزمن الحقيقي والعواملَ البنيانية التي تُحدِث تغيراً كبيراً في أزمنة تنفيذ التعليمات المنفردة وتُحسِّن الأداء، مثل استعمال الخوابي، وقنوات التوارد، والتنفيذ غير المرتَّب، والتنبّؤ بالتفريع. ويعرض حلاً لمشكلة تحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة يَعتمد على التحليل السكوني للتوقيت. ويستعرض نقاطَ ضعف ذاك الحل والتهديدات المستقبلية لقابلية استمراره.

يستقصي **ثالثها** (عرض تاريخي لموضوع تَعَرُّفِ الكلام) الخبرات المكتسبة حول التعرف الآلي لِلكلام خلال السنوات الأربعين الماضية. وهي تطورات قدمتها أجيال العاملين في البحث والتطوير بجامعة كارنيجي ميلون. فيلقي الضوء

على التقانات المتعلقة بتعرُّف الكلام التي أثبتت لها وجوداً في الحياة العملية، ويَعرض مجالات ستة جوهرية للتحديات التي تعيق انتقال التعرف الآلي للكلام من وضعه الحالي، المتمثّل بالخدمات الاستعراضية على الأجهزة المحمولة، إلى مستوىً أعلى.

أخيراً، يتأمل **رابعها** (وعي المجموعة في هندسة البرمجيات العالمية) التقانات والأدوات الرئيسية التي تدعم الوعي والتعاون الجماعي في مشاريع هندسة البرمجيات العالمية. يشير البحث إلى أن كثيراً من المشاريع الموزَّعة (العالمية) تخفق بسبب عدم كفاية التواصل والثقة، لذا يكون الوعي ضرورياً لتنسيق نشاطات المجموعة وضمان أنّ تكون المساهماتُ الفردية وثيقة الصلة بالمجموعة بتمامها. يفصّل البحث أنواعاً مختلفة لوعي المجموعة، ويقارن بين عدة منصات تطوير للتطبيقات من حيث دعمها لتلك الأنواع.

هذا وقد أضفنا في نهاية المجلة، كالعادة، قائمةً بأهم المصطلحات (إنكليزي – عربي) الواردة في مقالات العدد.

أخي القارئ،

في الختام، نتمى أن تقدم مواضيع هذا العدد الفائدة المرجوة، ونأمُل أن تتواصل معنا بإرسال ملاحظاتك ومقترحاتك إلينا ...

وإلى اللقاء معك في العدد القادم.

رئيس التحرير

الدكتور موفق دعبول

المحتويات

ملف العدد: تداول المعطيات الضخمة

ويكيداتا: قاعدةُ معرفةٍ تشاركيةٌ مَجّانية 9

المعطيات الضخمة تلتقي مع العلوم الضخمة 25

قوة الذاكرة 31

الأبحاث الأخرى

كيف تغيّر الحواسيبُ علم الأحياء؟ 35

الحساب يَستغرق زمناً، ولكن كم هو؟ 41

عرض تاريخي لموضوع تَعَرُّفِ الكلام 59

وعي المجموعة في هندسة البرمجيات العالمية 77

قائمة المصطلحات

ويكيداتا: قاعدةُ معرفةٍ تشاركيةٌ مَجّانية

WIKIDATA: A FREE COLLABORATIVE KNOWLEDGEBASE*

Denny Vrandečić & Markus Krötzsch
ترجمة: أ. سعيد الأسعد
مراجعة: أ. مروان البواب

تتيح هذه القاعدةُ المعرفية، التشاركيةُ التحرير، مصدرَ معطياتٍ عامًا لموسوعة ويكيبيديا، ولأيِّ شخصٍ كان.

ما برحت موسوعةُ ويكيبيديا Wikipedia، على نحوٍ قد لا يَفْطَن له معظمُ قرّائها، تمرُّ بتغيُّراتٍ بعيدة الأثر، في الوقت الذي ينصرف صِنْوُها مشروعُ قاعدة ويكيداتا Wikidata إلى تقديم موسوعةٍ جديدةٍ متعدِّدة اللغات من «ويكيبيديا المعطيات Wikipedia for data» (http://www.wikidata.org)، غايتُها إدارةُ المعلومات الواقعية التي تضمُّها الموسوعةُ الشائعةُ المتاحةُ مباشرةً على شبكة الإنترنت. وإذ أصبحت معطياتُ ويكيبيديا منقَّاةً ومدموجةً في موضعٍ واحد، تَعْرِضُ الآن فُرَصٌ سانحةٌ لتحقيق تطبيقاتٍ جديدةٍ كثيرة.

ومع أن التصوُّرَ الأصليَّ، عام 2001، لموسوعة ويكيبيديا هو أن تكون موردًا معرفيًّا يعتمد في محتواه على النصوص في المقام الأول، فقد جَمَعَتْ[1] مقاديرَ متزايدةً من المعطيات البنيويَّة structured data التي تشتمل على أرقامٍ وتواريخَ وإحداثياتٍ وضروبٍ متعدِّدةٍ من العلاقات، بدءًا من أشجار النَّسَب ووصولاً إلى تصنيف الأنواع الأحيائية، حتى باتت بالفعل موردًا نفيسًا للمعلومات، ذا تطبيقاتٍ ممكنةٍ تستغرق ميادين العلم والتقانة والثقافة كافة. ولا بِدْعَ في هذا التطوُّر، بالنظر إلى أن موسوعةَ ويكيبيديا قد وَقَفَت نفسَها «لعالَمٍ يستطيع كلُّ فردٍ فيه المشاركةَ في جملة المعارف كلِّها مَجّانًا»، حسبما وردَ في بيان تصوُّراتها على الصفحة (https://wikimedia foundation.org/wiki/Vision). ولا ريب في أن هذا سيتضمَّن معطياتٍ قابلةً للبحث والتحليل وإعادة الاستعمال.

ولعلَّ من دواعي العَجَب ألاّ تتيح موسوعةُ ويكيبيديا نفاذًا مباشِرًا إلى معظم أجزائها، عن طريق خدمات الاستعلام أو صادرات المعطيات القابلة للتحميل. فمن الملاحَظ ندرة

فِكَرٌ مفتاحية

- توفِّر ويكيداتا Wikidata قاعدةً معرفيةً تشاركيةً مَجّانيةً يستطيع الجميعُ تداوُلَها والإسهامَ فيها.
- سرعان ما غدت قاعدةُ ويكيداتا من أشدّ مشروعات مؤسسة ويكيميديا Wikimedia فاعليةً وأبعدِها أثرًا.
- تستمدُّ موسوعةُ ويكيبيديا Wikipedia، إضافةً إلى عددٍ متزايدٍ من المواقع الأخرى، محتواها من قاعدة ويكيداتا في كلِّ مرأًى صفحيٍّ pageview، معزِّزةً بذلك وضوحَ المعطيات ومبرزةً مدى فائدتها.

* نُشِر هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 57، العدد 10، تشرين الأول (أكتوبر) 2014، الصفحات 78 – 85.

الاستعمال الفعلي للمعطيات، وأنه غالبًا ما يكون مقيَّدًا ومقصورًا على معلوماتٍ بعينها (من مثل أماراتٍ جغرافية geo-tags لمقالاتٍ في ويكيبيديا مستعمَلةٍ في خدمة «خرائط غوغل» Google Maps). ويعود سببُ هذه الفجوة الصارخة بين التصوُّر والحقيقة إلى أن معطيات ويكيبيديا مبثوثةٌ في 30 مليون مقالةٍ مكتوبةٍ بـ287 لغةً، بحيث يكون استخلاص أجزاءٍ منها أمرًا في حدِّ ذاته جِدَّ عسير.

وهذا الحال غير ملائم لأي شخصٍ يرغب في استعمال المعطيات، لكنه أيضًا مبعثُ خطرٍ متزايدٍ على الغرض الأساسي من ويكيبيديا، المتمثِّل في توفير معارف موسوعيةٍ دقيقةٍ وحديثة العهد. وكثيرًا ما تظهر المعلوماتُ نفسُها في مقالاتٍ بعدَّة لغات، وكذلك في عدة مقالاتٍ بلغةٍ واحدة. فمثلاً، قد تقع على عدد سكان مدينة روما في مقالاتٍ تتناول روما باللغة الإنكليزية واللغة الإيطالية، على أنك قد تقع عليه أيضًا في المقالة الإنكليزية المعنونة: «مدنٌ في إيطاليا». وستجد في الأرقام اختلافًا كثيرًا.

وترمي قاعدةُ ويكيداتا إلى تذليل مثل هذه التناقضات من طريق ابتداع طرائقَ جديدةٍ تدير ويكيبيديا بها معطياتِها على نطاقٍ عالمي؛ انظر النتيجة على الموقع http://www.wikidata.org. وقراراتُ التصميم الأساسيةُ الآتية تصف منهجيةَ قاعدة ويكيداتا.

التحرير المفتوح open editing. تسمح ويكيداتا، شأنُها شأنُ ويكيبيديا، لكل مستخدِمٍ بتوسيع المعلومات المختزَنة وتحريرها، حتى من دون إنشاء حساب account، علمًا بأن استعمال واجهةٍ معتمِدةٍ على الاستمارات form-based interface من شأنه أن يسهِّل عمليةَ التحرير.

التحكُّم المشترك community control. لا يقتصر عمل جماعة المشاركين على التحكُّم في المعطيات الفعلية فحسب، بل في مختطَّة schema المعطيات كذلك. فالمشاركون يحرِّرون edit عددَ سكان روما، لكنهم هم مَنْ يقرِّر أيضًا: هل ثمة وجود لمثل هذا الرقم أصلاً؟

التعدُّدية plurality. إن من السذاجة أن نتوقَّع توافقًا شاملاً على المعطيات «الصحيحة»، وذلك بسبب وجود حقائق كثيرةٍ خلافيَّة أو –ببساطة– ملتبسة. وتوفِّر قاعدةُ ويكيداتا للمعطيات المتضاربة إمكانَ «التعايش»، وتقدِّم آلياتٍ لتنظيم هذه التعدُّدية.

المعطيات الثانوية secondary data. تَجمع ويكيداتا الحقائق المنشورة في المصادر الأساسية، إضافةً إلى مرجعياتٍ references لهذه المصادر. على سبيل المثال، لا تتوفر «أرقامٌ دقيقة عن عدد سكان روما»، ولكن يوجد ما يسمى «عدد سكان روما كما أصدرته مدينة روما عام 2011.»

المعطيات المتعدِّدة اللغات multilingual data. معظم المعطيات غير مقيَّدٍ بلغةٍ واحدة؛ فإن للأرقام والتواريخ والإحداثيات دلالاتٍ عالميةً متعارَفة، ومن ثمَّ فإن مفرداتٍ من مثل «روما» و«سكّان» تُترجَم إلى لغاتٍ كثيرةٍ مختلفة. من هنا فليس من قبيل المصادفة أن تكون ويكيداتا متعدِّدة اللغات؛ ففي حين نجد لموسوعة ويكيبيديا طبعاتٍ مستقلةً بكل لغة، لا يوجد سوى موقعٍ وحيدٍ لقاعدة ويكيداتا.

النفاذ السهل easy access. يتمثَّل الغرضُ من ويكيداتا في إتاحة المعطيات للاستعمال في ويكيبيديا، وفي التطبيقات الخارجية أيضًا. وتُصَدَّر المعطياتُ بوساطة خدمات الوب بعدَّة مصاغات formats، منها: تدوين أغراض لغة جافا سكريبت JavaScript Object Notation (JSON) وإطار عمل توصيف الموارد Resource Description Framework (RDF). وتُنْشَر المعطياتُ بمقتضى شروطٍ قانونيةٍ تسمح بإعادة الاستعمال على أوسع نطاقٍ ممكن.

التطوُّر المستمر continuous evolution. وفقًا لأفضل ما دَرَجَتْ عليه موسوعةُ ويكيبيديا، تتنامى قاعدةُ ويكيداتا بمجتمعها من المحرِّرين والمطوِّرين، والمهامِّ التي يُلحِقونها بها. فبدلاً من تطوير منظومةٍ تامةٍ تُقَدَّم إلى العالَم في غضون سنتين أو ثلاث سنوات، تُستعمَل اليوم سِماتٌ جديدة بصورةٍ تزايديةٍ متدرِّجة، وبأسرع وقتٍ ممكن.

إن هذه الخصائص تميِّز ويكيداتا بوصفها نوعًا خاصًّا من قواعد المعطيات الخاضعة للعناية[8].

المعطيات في ويكيبيديا

لطالما كانت واضحةً قيمةُ معطيات ويكيبيديا، مع وجود جهودٍ كثيرةٍ تُبذَل لاستعمالها. وتقوم منهجيةُ ويكيداتا على استحصال المعطيات من مصادر جماهيريةٍ واسعة النطاق، بحيث يتاح للمجتمع العالمي تحريرُ المعطيات. ومن شأن ذلك بالطبع أن يوسِّع طريقةَ «ويكي» التقليدية التي تسمح للمستخدِمين بتحرير موقعٍ للوب. ويشار إلى أن «ويكي» wiki كلمةٌ أصلها من هاوايي Hawaiian word، ومعناها «سريع»، استعملها وورد كَنِينغهام Ward Cunningham، الذي ابتدعَ أولَ موقع ويكي عام 1995، ليؤكِّد أن موقعَه على الوب يمكن تغييره بسرعة.[17]

من أكثر هذه النُّظُم شيوعًا نظام Semantic MediaWiki (SMW) الدلالي[15]، الذي يوسِّع برمجياتِ MediaWiki، المستعمَلةَ في تشغيل ويكيبيديا[2]، بإمكانات إدارة معطيات. وقد أُعِدَّ نظامُ SMW، في الأصل، لموسوعة ويكيبيديا، غير أنه سرعان ما صار يُستعمل أيضًا على مئات مواقع الوب الأخرى. ونظام SMW، خلافًا لقاعدة ويكيداتا، يدير المعطيات باعتبارها جزءًا من محتواه النَّصِّي، وهو بذلك يعيق إنشاءَ قاعدةٍ معرفيةٍ واحدةٍ متعدِّدة اللغات ترفد جميعَ مشروعات مؤسسة ويكيميديا Wikimedia. كذلك يلاحَظ أن نموذجَ معطيات قاعدة ويكيداتا أكثرُ إحكامًا وتفصيلاً من نموذج معطيات نظام SMW، وهذا يتيح للمستخدِمين التقاطَ معلوماتٍ أكثر تعقيدًا. وبرغم هذه الفروق، كان لنظام SMW أثرٌ بالغ في قاعدة ويكيداتا، علمًا بأن لكلا المشروعَيْن نظامَ ترميزٍ واحدًا للمهامِّ المشتركة.

ومن الأمثلة الأخرى على مشروعات القواعد المعرفية المجّانية قاعدتا OpenCyc وFreebase. أما OpenCyc فهي الجزء المجاني من قاعدة Cyc[16]، وترمي إلى تمثيلٍ للمعارف أكثر شمولاً وتعبيرًا من قاعدة ويكيداتا. وتَصْدُر OpenCyc بموجب رخصةٍ مجّانية، وهي متاحةٌ للعموم، إلا أنها –خلافًا لويكيداتا– ليست قابلةً للتحرير من عامة الناس. وأما Freebase، التي امتلكتها شركةُ غوغل عام 2010، فهي منصَّةٌ متاحةٌ على الشبكة online platform، توفِّر للمجتمعات إمكانَ إدارة معطياتٍ بنيوية[7]. وتُصنَّف الكائناتُ في قاعدة Freebase وفقًا لأنماطٍ تحدِّد نوعَ المعطيات التي يمكن أن يحملها الكائن؛ فأينشتاين، مثلاً، مصنَّفٌ فيها على أنه «فنان موسيقي»، بالنظر إلى أنه، في سياقاتٍ أخرى، يتعذَّر الرجوعُ إلى تسجيلاتٍ لأحاديثه. على أن ويكيداتا تشجِّع إطلاقَ خصائص عشوائية (كيفية) على جميع الكائنات. أما وجوه الاختلاف الأخرى عن ويكيداتا فتتَّصل بتشجيع تعدُّد اللغات، والمعلومات المصدرية، والبرمجيات الامتلاكية proprietary[a] المستعملة لتشغيل الموقع. وهذا الأخير عاملٌ حاسم للويكيبيديا، الملتزمة بالعمل على كدسة برمجياتٍ مفتوحة المصدر تمامًا fully open-source software stack، لكي تتيح لكلِّ فردٍ أن يشعِّب fork، أو أن ينسخ copy وينشئ إصدارَه version الخاص للمشروع.

وثمة منهجياتٌ أخرى لإنشاء قواعد معرفيةٍ من موسوعة ويكيبيديا تسعى إلى استخلاص المعطيات من هذه

[a] ذات الملكية الخصوصية المسجَّلة والمحميَّة. [المترجم]

الموسوعة، أهمها: DBPedia[6] و Yago[13] اللتان تَستخلِصان المعلومات من طبقات ويكيبيديا، ومن أُطُر المعلومات infoboxes، وهي الملخَّصات الجدولية المثْبَتة في الحيِّز الأعلى الأيمن لكثيرٍ من مقالات ويكيبيديا. وهناك آلياتٌ إضافية تساعد على تحسين نوعية الاستخلاص. وتشتمل منهجيةُ Yago على معلوماتٍ سياقية، زمانيةٍ ومكانية، لكنَّ أيًّا من منهجيَّتَيْ DBPedia و Yago لا تستخلص معلوماتٍ مصدرية.

وتُستعمل معطياتُ ويكيبيديا، المتحصَّلة من هذه المشروعات أو بطرائق استخلاصٍ خاصةٍ حسب الطلب، لتحسين جودة البحث الغَرَضي object search في موقع غوغل المسمّى «مبيان المعرفة» Knowledge Graph (المعتمد على قاعدة Freebase)، وفي موقع فيسبوك المسمّى «المبيان المفتوح» Open Graph، وكذلك في المحرِّكات المجيبة answering engines مثل: Wolfram alpha[24] و Evi[21] و Watson[10] من IBM. وتُستعمل أيضًا أماراتُ ويكيبيديا الجغرافية geo-tags في خدمة Google Maps. وحريٌّ بجميع هذه التطبيقات أن تفيد من أحدث صادرات المعطيات القابلة للقراءة آليًّا machine-readable data exports (مثلاً: الطريقة التي تُظهِر بها خدمةُ Google Maps إقليمَ تشيناي الهندي في بحر كارا القطبي قرب جزيرة أوشاكوف). يُذكَر أنه من بين هذه التطبيقات، ينفرد Freebase و Evi في أنهما يتيحان أيضًا للمستخدِمين تحريرَ المعطيات، أو توسيعها على الأقل.

ملف العدد

لمحةٌ تاريخيةٌ إلى ويكيداتا

أَطلَقت مؤسسةُ ويكيميديا قاعدةَ ويكيداتا في شهر تشرين الأول (أكتوبر) عام 2012. وكانت المزايا في البداية محدودةً؛ فلم تتجاوز قدرةُ المحرِّرين تأليفَ موضوعاتٍ قصيرة وربطَها بمقالات موسوعة ويكيبيديا لا أكثر. وفي كانون الثاني (يناير) عام 2013 بدأت ثلاثُ موسوعات ويكيبيديا – واحدة مَجَريَّة بادئ الأمر، تبعتها عبريةٌ وأخرى إيطالية – بالارتباط بويكيداتا. وفي غضون ذلك كان مجتمعُ ويكيداتا قد ألَّفَ أكثر من ثلاثة ملايين مقالة. تلا ذلك ظهور الويكيبيديا الإنكليزية في شهر شباط (فبراير)، ثم ارتبطت الويكيبيديات جميعُها بالويكيداتا في شهر آذار (مارس).

تلقَّت ويكيداتا مُدْخَلاتٍ من مشاركين زاد عددُهم على 40,000 ابتداءً من شباط 2014. ومنذ أيار (مايو) 2013 تزايد عددُ المشاركين في ويكيداتا باطِّراد حتى تجاوزَ 3,500 مشارك فاعل، يحقِّقون خمسَ تحريرات edits على الأقل شهريًّا. ولا جَرَمَ أن تجعلها هذه الأرقامُ من أشدّ مشروعات مؤسسة ويكيميديا فاعليةً وأبعدها أثرًا.

وفي آذار 2013 أَدخَلت ويكيميديا لغةَ لُوَا Lua لغةً إخطاطيةً scripting language، بغية إنشاء وإغناء أجزاءٍ من المقالات آليًّا (كأُطُر المعلومات المذكورة آنفًا). وتتميَّز إخطاطاتُ لغةِ لُوَا بقدرتها على النفاذ إلى ويكيداتا، ومن ثم تمكين محرِّري ويكيبيديا من استحضار المعطيات ومعالجتها وإظهارها.

ثم أُدخلت مزايا أخرى عديدةٌ عام 2013 ، ومن المزمع أن يستمرَّ التطويرُ ويتواصلَ في المستقبل المنظور.

واحدٌ من كثير

تمثَّلَ أولُ تحدٍّ لمجتمع ويكيداتا في التوفيق بين لغات طبعات ويكيبيديا المختلفة، البالغة 287 لغةً. فمثلاً، لكي تكون ويكيداتا متعدِّدةَ اللغات حقًّا، يتعيَّن أن يكون الغرضُ الذي يمثِّل «روما» واحدًا في اللغات كلِّها. ومن يُمن الطالع أن ويكيبيديا تتبع في هذا المساق آليةً محكمةً تستعمل وصلاتٍ لغويةً language links تظهر على الجانب الأيسر لكل مقالة، وتربط ما بين المقالات باللغات المختلفة. وقد استُنبِطت هذه الوصلات من مداخل نصِّيَّة text entries من تحرير

المستخدِم، تَرِدُ في ذيل كلِّ مقالة، وتفضي إلى عددٍ تربيعيٍّ من الوصلات. على سبيل المثال، إن كلَّ مقالةٍ من الـ207 مقالات التي تتناول روما، مثلاً، تضمُّ لائحةً بـ206 وصلات إلى سائر المقالات عن روما – أي ما مجموعه 42,642 سطرًا نصِّيًّا. ومع نهاية العام 2012، وُجِدَ أن 66 طبعةً من الـ287 طبعةً المختلفة اللغات من ويكيپيديا قد ضمَّت مادَّةً نصِّيَّةً تتناول الوصلاتِ اللغويةَ أكثر من تناولها المحتوى الفعليَّ للمقالات.

ومن الواضح أن من الأجدى خَزْنَ الوصلات اللغوية وإدارتَها في موضعٍ واحد، فصارَ ذلك أولَ مهامِّ ويكيداتا. ففي مقابل كل مقالةٍ في ويكيپيديا، أنشئت اليوم صفحةٌ على ويكيداتا لتوجيه الوصلات إلى مقالات ويكيپيديا ذات الصلة في مختلف اللغات؛ وسُمِّيت هذه الصفحات «مفردات» items، لم تكن تتَّسع، بادئ الأمر، لسوى مقدارٍ محدودٍ من المعطيات يُخْزَن في كلِّ مفردة: لائحة بالوصلات اللغوية، ولصيقة label، ولائحة بالأسماء المستعارة (البديلة)، وتوصيف من سطرٍ واحد. أما اليوم، فيمكن تفصيل اللصيقات والأسماء المستعارة والتوصيفات إفراديًّا، وبعددٍ من اللغات يصل إلى 358 لغة.

وابتدعَ مجتمعُ ويكيداتا كَرِيْرات bots[b] لنقل الوصلات اللغوية من ويكيپيديا إلى ويكيداتا، وقد نُقِلَ فعلاً أكثر من 240 مليون وصلةٍ من ويكيپيديا. ويُذكَر أن أغلب الوصلات اللغوية المعروضة على ويكيپيديا تُخَدَّم من ويكيداتا. وما زال بالإمكان إلحاق وصلاتٍ حسب الطلب بمقالةٍ ما، كما قد يحدث في الحالات النادرة التي لا تكون فيها الوصلاتُ ثنائيةَ الاتجاه bidirectional. وفي حين تحيل بعضُ المقالات إلى مقالاتٍ أكثر عموميةً بلغاتٍ أخرى، تتعمَّد ويكيداتا ربطَ الصفحات التي تتناول الموضوعَ نفسَه، فاستطاعت – عن طريق استيراد وصلاتٍ لغوية – إحرازَ مجموعةٍ ضخمةٍ من المفردات المبدئية التي «تأصَّلَتْ» في صفحات ويكيپيديا الفعلية.

معطيات بسيطة (خصائص وقيم)

ولخَزْن معطياتٍ بنيويةٍ من خارج اللصيقات النصِّيَّة والوصلات اللغوية، تَستعمل ويكيداتا نموذجَ معطياتٍ بسيطًا يجري فيه وصْفُ المعطيات أساسًا باستعمال أزواجٍ من الخصائص والقيم property-value pairs. فالمفردة «روما»، مثلاً، قد تأخذ خصيصةَ «سكان» بقيمة «2,777,979». والخصائص أغراضٌ لها صفحاتُها في ويكيداتا مع لصيقاتٍ وأسماء مستعارة وتوصيفات. على أن هذه الصفحات، خلافًا للمفردات، ليست مرتبطةً (بوَصْلات) بمقالات ويكيپيديا.

من ناحيةٍ أخرى، تهتم صفحاتُ الخصائص دومًا بتوصيف نوعِ معطياتٍ datatype يعرِّف نوعَ القيم التي يمكن أن تحملها الخصيصة. فـ«السكان» عدد؛ في حين أن «له أب» تتعلق بمفردةٍ أخرى في ويكيداتا؛ أما «الرمز البريدي post-code» فهو متوالية. وهذه المعلومات مهمةٌ لتوفير واجهات مستخدِمين user interfaces ملائمة، وللاستيثاق من صحة المدخَلات inputs. ولا يتوفَّر من أنواع المعطيات إلا عددٌ صغيرٌ فقط، وأغلبها يخصُّ الكمّية، والمفردة، والمتوالية، والتاريخ والزمن، والإحداثيات الجغرافية، وعنوان المورِد النظامي URL. ويجدر القول إن المعطيات ذاتُ صفةٍ دولية، مع أن إظهارها display ربما يكون معتمدًا على اللغة language-dependent؛ فالرقم 1,003.5 يُكتَب «1.003,5» باللغة الألمانية، و «1 003.5» بالفرنسية.

[b] bot (وتسمى أيضًا internet bot (كريرة إنترنت)، أو web robot (ربوط وِبْ)): تطبيق برمجي ينفِّذ مهامَّ مؤتمتة على شبكة الإنترنت، وبخاصة مهام بسيطة تتَّسم بالتكرارية أو تستغرق وقتًا طويلاً، بسرعةٍ أكبر بكثير مما قد تستغرقه اليد البشرية منفردة. [المترجم]

معطيات ليست بهذه البساطة

في حالاتٍ كثيرة تكون أزواجُ الخصائص والقيم غايةً في البساطة؛ مثلاً: تَذْكر ويكيبيديا أن عدد سكان روما بلغَ 2,651,040 «بدءًا من عام 2010» استنادًا إلى «تقديرات» نَشَرَها المعهدُ الوطني للإحصاء (Istat، اختصارًا) في إيطاليا (http://www.istat.it/)؛ انظر الشكل 1 الذي يبيِّن تمثيلَ إحصاءات روما في ويكيداتا. وحتى بتنحية المعلومات المصدرية، لا يمكن التعبير عن المعلومات بسهولة باستعمال أزواج الخصائص والقيم. وبالإمكان استعمال خصيصة property «عدد السكان التقديري لعام 2010»، أو إنشاء مفردة «روما» في عام 2010 لتحديد قيمةٍ لـ«عدد سكانها التقديري». لكنَّ أيًّا من الحلَّيْن غير موفَّق وغير عملي؛ فنحن نرغب، كما يُظهِر الشكل 1، أن تحتوي المعطياتُ على خصيصة «بدءًا من» مقترنةً بقيمة «2010»، وخصيصة «طريقة» مقترنةً بقيمة «تقدير». ويلاحَظ أن أزواج الخصائص والقيم هذه لا تشير إلى روما، بل إلى توكيد أن روما يعيش فيها عددٌ من السكان يبلغ 2,651,040. وبذلك نحصل على نموذجٍ يمكن أن تحمل فيه أزواجُ الخصائص والقيم المنسوبةُ إلى المفردات أزواجَ خصائص وقيم ثانويةً إضافية نسمِّيها «مقيِّدات» qualifiers.

Population	**2,761,477**		[**edit**]
	as of	**2010**	
	method	**estimation**	
	▸ **1 source**		
			[**add**]

الشكل 1. لقطة شاشة لبيانٍ معقَّد في قاعدة ويكيداتا.

يمكن استعمالُ المقيِّدات لعرض معلوماتٍ سياقية contextual information (من قبيل أمد صلاحية توكيدٍ ما)، ويمكن استعمالُها كذلك لترميز علاقاتٍ ثلاثية ternary relations تتجنَّب استعمالَ نموذج الخصائص والقيم. فعلى سبيل المثال، للتعبير عن أن الممثلة ميريل ستريپ Meryl Streep أدَّت دورَ مارغريت ثاتشر Margaret Thatcher في فيلم *السيدة الحديدية*، يمكن أن تضاف إلى مفردة الفيلم خصيصةُ «عضو في فريق التمثيل» مقترنةً بقيمة «ميريل ستريپ»، مع مقيِّدٍ إضافي «دور = مارغريت ثاتشر».

ومن شأن هذه المقيِّدات أن توضِّح السببَ الذي يحملنا على اعتماد مجموعة مقيِّداتٍ قابلةٍ للتوسُّع بدلاً من الاقتصار على أكثر المقيِّدات شيوعًا (كتلك الصالحة للمعلومات الزمنية). وواقع الأمر أن المقيِّدات بصورتها الراهنة تكاد تكون تمثيلاً مباشِرًا للمعطيات التي تحتويها أُطُر المعلومات في ويكيبيديا. وهذا الحلُّ أشبه بمقارباتٍ معروفةٍ لتمثيل

المعلومات السياقية[18, 11]. على أن ذلك يجب ألا يُفهَم خطأً على أنه تحايُل لتمثيل علاقاتٍ أعلى رتبةً higher arity[c] في نماذج المعطيات القائمة على البيانات graph-based data models، بالنظر إلى أن بيانات statements ويكيداتا لا تحمل رتبةً ثابتةً (أو حتى مقيَّدة) بهذا المعنى[20].

وتراعي ويكيداتا أيضًا حالتَيْن خاصَّتَيْن من أنواع البيانات: أولاهما أن بالإمكان توصيف قيمة خصيصةٍ على أنها مجهولةٌ أو غير معروفة؛ فبالإمكان القول مثلاً إن يوم وفاة الكاتب آمبروس پيرس غير معروف، بدلاً من ذكر أي شيء يبيِّن أنه بالتأكيد ليس في الأحياء. وثانيتهما أن بالإمكان القول إن خصيصةً ما ليس لها قيمةٌ على الإطلاق (كتوكيد أن أستراليا لا تحدُّها أيُّ دول). ومن المهم تمييز هذه الصورة عن الحالة الشائعة المتمثِّلة في أن المعلومات –ببساطة– ناقصة. ومن الخطأ اعتبار هاتين الحالتين قيمتَيْن خاصتَيْن تتَّضحان لدى النظر في تساؤلاتٍ عن مفرداتٍ تشترك في قيمةٍ واحدةٍ لخصيصةٍ ما؛ وإلا لخَلَصَ المرءُ بالضرورة إلى أن لأستراليا وآيسلندا دولةَ جوارٍ مشتركة.

لمزيدٍ من التفصيل فيما يتعلق بنموذج معطيات ويكيداتا، ومظهر عرضه على «لغة أنطولوجيا الوب Web Ontology Language» ضمن «إطار توصيف الموارد Resource Description Framework» (OWL/RDF، اختصارًا)، يمكن الاطِّلاع على المصدر [Erxleben, …][9].

المرجعية Citation اللازمة

توفِّر توكيداتُ الخصائص، التي ربما اقترنت بالمقيِّدات، بنيةً غنيَّةً للتعبير عن ادّعاءاتٍ (طروحات) كيفية arbitrary claims. وكلُّ ادّعاءٍ في ويكيداتا يمكن أن يضمَّ لائحةَ مرجعيات references لمصادر sources تعزِّز الادّعاء. والواقع أن إدراج هذه المرجعيات يتَّفق مع غرض ويكيپيديا في كونها مصدرًا ثانويًّا secondary (أو ثالثيًّا tertiary) لا يَنْشُر بحوثَه الخاصة، وإنما يجمع معلوماتٍ تُنْشَر في مصادر أوَّلية primary (أو ثانوية) أخرى.

وثمة طرائق كثيرةٌ لتوصيف مرجعيَّةٍ ما، تبعًا لكونها كتابًا، أو قاعدةَ معطيات محدَّثة، أو موقعَ وب، أو شيئًا آخر تمامًا. ثم إن بعض المصادر يمكن تمثيله بمفردات ويكيداتا، على حين لا يقبل بعضُها الآخر ذلك. وبناءً عليه فإن المرجعية ليست أكثر من لائحة أزواجٍ من الخصائص والقيم، تترك تفصيلاتِ نمذجةِ المرجعية للمجتمع. ويلاحَظ أن ويكيداتا لا تُثْبِت المنشأ تلقائيًّا[19]، غير أنها تتيح إمكانَ التمثيل البنيوي للمرجعيات.

وتتبدَّى أهميةُ المصادر أيضًا بوصفها معلوماتٍ سياقية؛ فاختلاف المصادر غالبًا ما يسبِّب ادِّعاءاتٍ متناقضة، ومع ذلك تتوخى ويكيداتا تمثيلَ جميع الآراء، لا اختيار طرحٍ واحدٍ «صحيح». وبالإمكان خزن عباراتٍ عديدة عن خصيصةٍ واحدة (مثل السكّان)، وذلك بضمِّها إلى المعلومات السياقية التي توفِّرها المقيِّدات (كتلك المستعملة للسياق الزمني). وللمساعدة في إدارة هذه التعدُّدية، تتيح ويكيداتا للمشاركين خيارَ وَسْم البيانات على أنها «مفضَّلة» (للبيانات الراهنة الوثيقة الصلة)، أو «مستبعَدة» (للبيانات غير ذات الصلة، أو غير المحقَّقة). ويمكن أن تكون البياناتُ المستبعَدةُ مفيدةً لمحرِّري ويكيداتا لتسجيل ادِّعاءاتٍ مغلوطةٍ لمصادر معيَّنة، أو للاحتفاظ ببياناتٍ ما زالت بحاجةٍ إلى تحسينٍ أو تحقُّق. يُذكَر أن هذه التصنيفات، شأنَ محتوى ويكيداتا كلِّه، رهنٌ بإجرائياتٍ تحريرية editorial processes يحكمها المجتمع، شبيهةٍ بتلك المتَّصلة بويكيپيديا.[1]

[c] arity: الاسم الدالُّ على عدد الكائنات objects المرتبطة وفق علاقة relation معيَّنة، مثل: unary (واحديّ) و binary (اثناني) و ternary (ثلاثي)، إلخ. [المترجم]

ويكيداتا بالأرقام

تنامت قاعدةُ ويكيداتا تناميًا ملحوظًا منذ انطلاقتها في شهر تشرين الأول (أكتوبر) 2012 (انظر الجدول، ففيه حقائق إحصائيةً أساسيةً عن محتواها الحالي)، وأضحت أوسعَ مشروعات مؤسسة ويكيميديا تحريرًا most edited، وذلك بإحراز 150 – 500 تحريرة edites في الدقيقة، أو نصف مليون تحريرة في اليوم، أي نحو ثلاثة أضعاف العدد في طبعة ويكيبيديا

معلومات إحصائية أساسية عن ويكيداتا (آب (أغسطس) 2014).

لغات مدعومة	**358**
لصيقات	**52,811,608**
توصيفات	**37,636,220**
أسماء مستعارة	**8,765,542**
مفردات	**15,792,256**
مفردات تحوي بيانات	**11,986,708**
مفردات تحوي بيانات عددها ≤ 5	**3,017,227**
مفردة تحوي معظم البيانات: Rio Grande do Sul	**513**
بيانات	**43,189,45**
بيانات بمرجعية	**23,242,779**
خصائص	**1,176**
أكثر الخصائص استعمالاً	
– مثال على	**10,892,599**
– بلد، دولة	**2,236,846**
– جنس أو جنوسة	**2,203,270**
مشاركون مسجَّلون	**54,670**
– بتحريرات عددها ≤ 5 في حزيران (يونيو) 2014	**4,989**
تحريرات	**157,531,945**
استعمال أنواع المعطيات	
– مفردات ويكيداتا	**29,199,563**
– متواليات	**9,233,241**
– استحضار نقاط سابقة (زمنيًا)	**2,287,271**
– إحداثيات جغرافية	**1,620,508**
– ملفات وسائط	**673,769**
– عناوين موارد نظامية (URLs)	**97,949**
– أعداد (جديد في عام 2014)	**73,627**

الإنكليزية. ومع أن زهاء 90% من هذه التحريرات تنفِّذها كريراتٌ bots يبتدعها المشاركون لأتمتة بعض المهامّ، ما زال قرابةُ مليون تحريرة شهريًّا تنفِّذها اليدُ البشرية. ويَعْرِض الشكل 2a عددَ التحريرات البشرية المحقَّقة في غضون فواصل زمنيةٍ من 14 يومًا. ونشير هنا إلى أننا نولي اهتمامًا خاصًّا بمشاركات المستخدِمين المتضلِّعين power users مِمَّن يزيد عددُ تحريراتهم على 10,000 أو حتى 100,000 تحريرة على التوالي، اعتبارًا من شهر شباط (فبراير) 2014، بالنظر إلى أنها تعطي تفسيرًا لمعظم هذا التفاوت. ويُذكر أن الزيادة التي حصلت في شهر آذار (مارس) 2013 كانت إيذانًا بإشهار الموقع رسميًّا.

ويُظهِر الشكل 2b معدَّلَ تنامي ويكيداتا منذ انطلاقتها حتى شباط 2014. ويتَّضح منه وجود زهاء 14.5 مليون مفردة و36 مليون وصلة لغوية، وأن كلَّ مقالة ويكيبيديا مرتبطةٌ أساسًا بمفردة ويكيداتا اليوم، ومن ثم فإن هذه الأرقام تتنامى ببطء. في المقابل يلاحَظ أن عدد اللصيقات، وهو 45.6 مليون لصيقة بدءًا من شباط 2014، مستمرٌّ في التزايد؛ فعددُ اللصيقات يفوق عددَ مقالات ويكيبيديا. كذلك فإن زهاء 10 ملايين مفردة لها بيانات، و30 مليون بيان أنشئت باستعمال أكثر من 900 خصيصة مختلفة. وكما هو متوقَّع، فإن استعمال هذه الخصائص لا يخلو من حيدان؛ فأكثر الخصائص تردُّدًا هي «مثال على» الخصيصة P31 (5.6 مليون استعمال) لتصنيف المفردات، ومن أقلِّها تردُّدًا هي الخصيصة P485 (133 استعمالاً) التي تربط موضوعًا ما (من قبيل الموسيقي يوهان سيباستيان باخ) بالمؤسسة التي تؤرشف ذاك الموضوع (من مثل أرشيف باخ في مدينة لايبتزغ الألمانية).

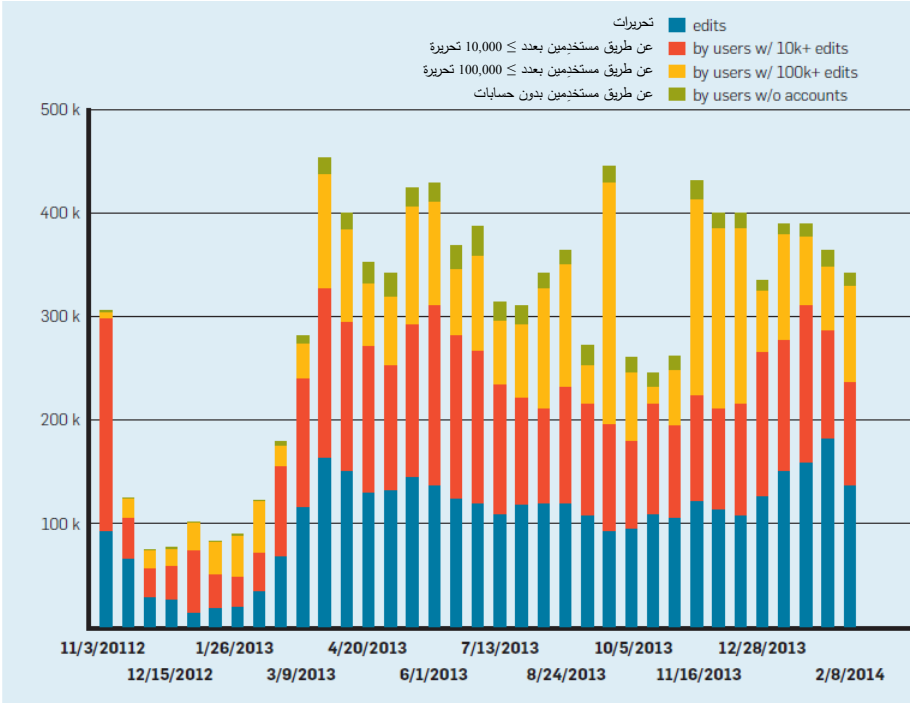
وِبْ المعطيات

من التطوُّرات الواعدة في قاعدة ويكيداتا ما يحقِّقه المجتمعُ التطوُّعيُّ من إعادة استعمالٍ ودمج للمعرِّفات (معيِّنات الهوية) الخارجية external identifiers المستمَدَّة من قواعد المعطيات المتاحة والضوابط التعريفية[d]، ويشمل ذلك: معرِّف الأسماء المعياري الدولي International Standard Name Identifier (ISNI)، ومنظومة الصين للمكتبات الأكاديمية والمعلومات China Academic Library and Information System (CALIS)، والاتحاد الدولي للنقل الجوّي International Air Transport Association (IATA)، ومشروع الموسوعة الموسيقية MusicBrainz المفتوحة للألبومات والمؤدِّين، وقاعدة معطيات الأعاصير في حوض شمال الأطلسي North Atlantic Basin's Hurricane Database (HURDAT). وتتيح هذه المعرِّفاتُ الخارجية للتطبيقات مكاملةَ ويكيداتا مع معطياتٍ من مصادر أخرى تبقى خاضعةً لتحكُّم الناشر الأصلي.

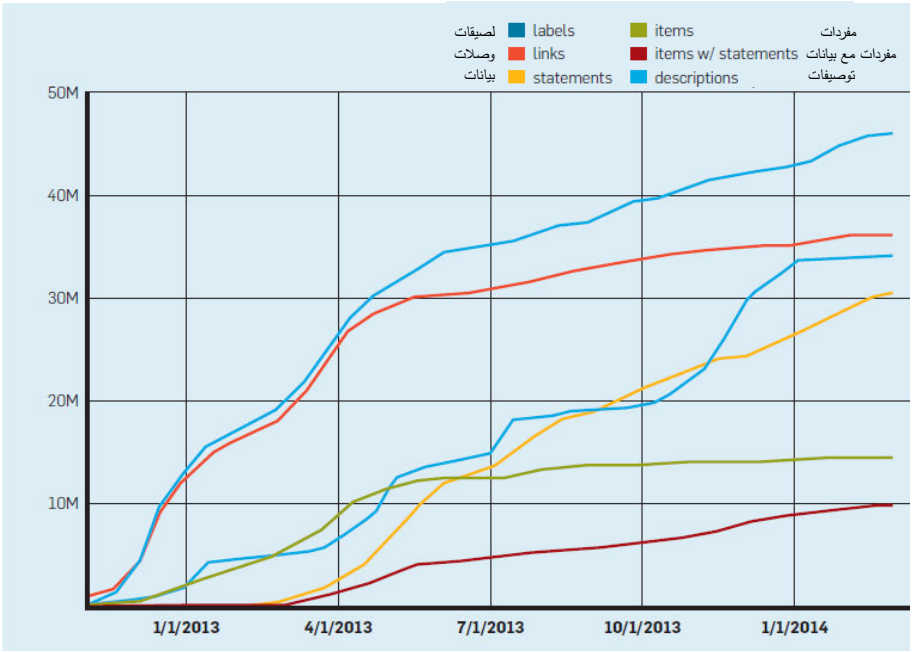
تجدر الإشارة إلى أن ويكيداتا ليست أولَ مشروعٍ للتوفيق بين معرِّفاتٍ identifiers وملفّات تعريف authority files من مصادر مختلفة. فمن جملة المشروعات الأخرى: ملفُّ التعريف الدولي الافتراضي Virtual International Authority File (VIAF) في المجال الببليوغرافي[3]، ومشروع الأسماء الجغرافية GeoNames في المجال الجغرافي[22]، والقاعدة الحرَّة Freebase[7]. ومع أن ويكيداتا ترتبط بكثيرٍ من المشروعات، فهي تختلف عنها أيضًا من حيث المدى والحجم والإجرائيات التحريرية ومجتمع المؤلِّفين (الكُتَّاب).

[d] الضوابط التعريفية authority controls: وسائل تربط مقالاتِ موسوعة ويكيبيديا بمعرِّفاتٍ فريدةٍ تقترن بكلٍّ منها، وذلك إزالةً لأي لبس في تمييز المقالات ذات العناوين المتشابهة أو المتطابقة، وفي تحديد عنوانٍ وحيد لمقالةٍ تُعْرَف بعنوانين أو أكثر. [المترجم]

وتُعْرَض المعطياتُ المتحصَّلة بطرائق شتى: فمثلاً، الصادرات الحالية على مستوى المفردة الواحدة per-item



(a)



(b)

الشكل 2. نموّ قاعدة ويكيداتا: (a) عدد التحريرات نصف الشهري الذي سجَّلته مجموعاتٌ مختلفة من المحرِّرين، (b) حجم القاعدة المعرفية.

exports متاحةٌ في مصاغة JSON، ولغة التأشير الموسَّعة XML (eXtended Markup Language)، وإطار عمل توصيف الموارد RDF، وفي عدة مصاغاتٍ أخرى. وتُستحدَث – على فترات– مستودعاتُ قواعد معطيات كاملة database dumps رديفةٌ، تعزَّز بصفحات وب يومية مائزة daily diffs[e]، علمًا بأن جميع المعطيات تُجاز بموجب رخصةٍ من مؤسسة Creative Commons (اللاربحية)، وبذلك توضع المعطياتُ في النطاق العام.

ويعرَّف كلُّ كيانٍ في ويكيداتا باستعمال هويةٍ نظاميةٍ فريدة للموارد URI (مثل: http://www.wikidata.org/entity/Q42 للمفردة Q42 التي تمثِّل شخصية دوغلاس آدمز). وبتحويل عناوين هذه الموارد، تصبح الأدواتُ قادرةً على الحصول على معطيات المفردة في المصاغة المطلوبة (عن طريق مناقشة المحتوى). ويجري ذلك وفقًا لمعايير المعطيات المترابطة[f] الخاصة بنشر المعطيات[5]، وهذا يجعل ويكيداتا جزءًا من منظومة الوب الدلالي Semantic Web[4, 9]، في حين يرفد دمجَ مصادر معطيات الوب الدلالي الأخرى في ويكيداتا.

تطبيقات قاعدة ويكيداتا

تَصْلُح المعطياتُ في ويكيداتا لتطبيقاتٍ عديدةٍ في مجال تكامل المعطيات data integration، على مستوياتٍ مختلفةٍ جدًّا.

لصيقات وتوصيفات لغوية. توفِّر ويكيداتا لصيقاتٍ labels وتوصيفاتٍ descriptions لكثيرٍ من المصطلحات بلغاتٍ مختلفة، ربما كان القصدُ من استعمالها تقديمَ معلوماتٍ لفئاتٍ دوليةٍ من الجمهور المعنيِّ بها. وتستغرق ويكيداتا، خلافًا لما درجت عليه المعجماتُ المألوفة، كياناتٍ كثيرةً محدَّدة (كأسماء أماكن، وموادَّ كيميائية، ونباتات، ومصطلحاتٍ متخصِّصة) قد يكون من العسير ترجمتها. وثمة من الصُّوَر التي تتمحور حول المعطيات data-centric ما يمكن ترجمتها ترجمةً سقيمةً، كأن تُتَرجَم مصطلحًا مصطلحًا – كما الحال في خرائط التفكير التعليمية، وقوائم التسوُّق، ومكوِّنات الأطباق في قائمة طعام – بافتراض أن جميع المفردات مرتبطٌ بهويَّات تعريف IDs ويكيداتا ملائمة، علمًا بأن المصدر المفتوح المسمّى JavaScript library qLabel (http://google-knowledge.github.io/qLabel/) يقدِّم هذه الوظيفيّة لأيِّ موقع وب.

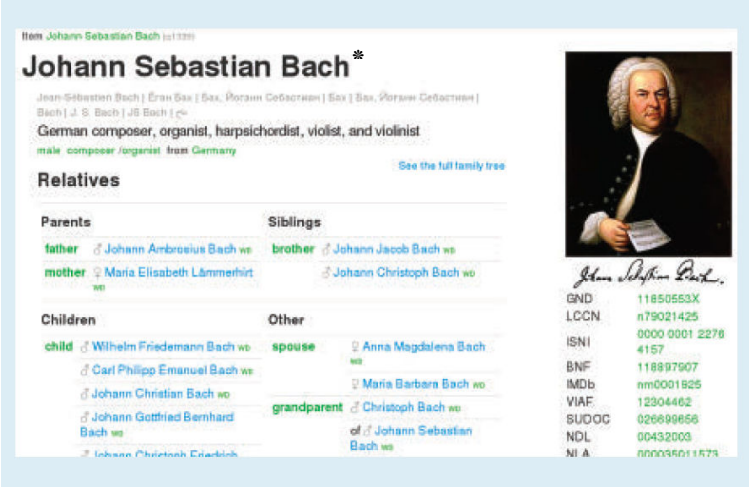
إعادة استعمال المعرِّف. يمكن استعمالُ هويات تعريف المفردات item IDs معرِّفاتٍ مستقلَّةً عن اللغة language-independent identifiers، لتسهيل تبادل المعطيات والتكامل على امتداد حدود التطبيق. وبالرجوع إلى مفردات ويكيداتا، تستطيع التطبيقاتُ توفيرَ تعريفاتٍ definitions واضحةٍ للمصطلحات التي تستعملها، والتي تؤلِّف أيضًا نقاطَ الدخول إلى فيضٍ من المعلومات ذات الصلة. ومن هنا يلاحَظ أن هويات تعريف ويكيداتا تشبه المعرِّفات الغرضية الرقمية digital object identifiers (DOIs)، غير أنها تؤكِّد المعطيات (المترفِّعة meta) خارج مواضع الوثائق المباشرة على الإنترنت، وتَستعمِل بنيةً أساسيةً اجتماعيةً أخرى لتحديد الهوية. ويشار هاهنا إلى أن هويات تعريف ويكيداتا مستقرَّة: فهي لا تعتمد على اللصيقات اللغوية language labels؛ وتتميَّز بإمكان حذف المفردات مع أن هويّات التعريف لا يُعاد استعمالُها أبدًا؛ ومن شأن الوصلات links إلى مجموعات معطياتٍ datasets ومواقع sites أخرى أن تزيد في استقرارها أكثر فأكثر. ثم إن ويكيداتا، إضافةً إلى أنها توفِّر مجموعةً واسعةً من هويّات التعريف، تتيح أيضًا الوسيلةَ لمساعدة

[e] تعرض الفرقَ بين إصدارٍ وآخر لصفحات الويكيبيديا. [المترجم]

[f] Linked Data standard: طريقة لنشر معطيات بنيوية، بحيث ترتبط فيما بينها بصورةٍ تجعلها أكثر جدوى في الاستعلام الدلالي. [المترجم]

المشاركين في اختيار هوية التعريف الصحيحة من طريق عرض اللصيقات والتوصيفات. أما التطبيقات الخارجية فقد تستعمل الوظيفيةَ نفسَها من خلال الواجهة البرمجية للتطبيقات ذاتها.

النفاذ إلى ويكيداتا. تتَّصف المعلوماتُ المتحصَّلةُ في قاعدة ويكيداتا بأنها مهمةٌ في ذاتها، وبأن بالإمكان إنشاء تطبيقاتٍ عديدةٍ للنفاذ إليها بصورةٍ أكثر ملاءمةً وفاعلية. فالتطبيقات التي أنشئت في مطلع عام 2014 ضمَّت متصفِّحات معطياتٍ نوعية (تتناول الأنواعَ الأحيائية)، كالتطبيق الذي يمثِّله الشكل 3، وأدواتٍ ذاتَ أغراضٍ خاصة special-purpose tools، من جملتها تطبيقا عرضٍ (إراءة) في علم الأنساب genealogy viewers، وشجرةٌ للحياة، وجدولٌ للعناصر، وأدواتُ مقابلة mapping tools شتى. ويمكن أن تستعين التطبيقاتُ بواجهة ويكيداتا البرمجية للتطبيقات Wikidata API في تصفُّح المعطيات واستعلامها، وحتى في تحريرها. فإن لم تَفِ الاستعلاماتُ البسيطةُ بالمراد بَرَزَت الحاجةُ إلى نسخةٍ مخصَّصة dedicated copy من المعطيات، يُستحصَل عليها من المستودعات dumps النظامية، ويمكن تحديثُها بالزمن الحقيقي عن طريق صنع صورٍ للتحريرات edits على ويكيداتا. ويُذكَر أن ما يسمى طقم أدوات ويكيداتا Wikidata Toolkit، وهي مكتبةٌ مفتوحة المصدر لتطبيقات چاڤا (https://www.mediawiki.org/wiki/Wikidata_Toolkit)، تتيح نفاذًا ملائمًا إلى مستودعات المعطيات تلك.



* يوهان سيباستيان باخ: مؤلِّف موسيقي وعازف أرغن وبيان قيثاري (هارپ) وكمان.

الشكل 3. ويكيداتا في التطبيقات الخارجية: متصفِّح المعطيات "Reasonator" (http://tools.wmflabs.org/reasonator/).

إغناء التطبيقات. يمكن إغناء كثيرٍ من التطبيقات بتضمين معلوماتٍ من ويكيداتا مباشرةً داخل واجهاتها؛ مثلاً: قد يرغب عازفٌ موسيقي في تضمين صورة الفنان الذي تُعْزَف موسيقاه في الملفِّ الصوتي audio file. وخلافًا لما جرت عليه الاستعمالاتُ الأولى لمعطيات ويكيپيديا (كما في خدمة خرائط غوغل)، عاد مطوِّرو التطبيقات application developers غيرَ مضطرِّين لاستخراج المعطيات وتعهُّدها بأنفسهم، فإن مثل هذا النفاذ إلى المعطيات الخفيفة ملائمٌ للتطبيقات النقّالة بخاصة. أما في الأحوال الأخرى فيقوم مطوِّرو التطبيقات بمعالجة المعطيات سلفًا بغية دمجها في تطبيقاتها؛ على سبيل المثال، من السهل استخراج ملفٍّ لجميع المدن الألمانية، مع أقاليمها ومجالات رموزها البريدية التي يمكن استعمالها فيما بعدُ في تطبيقٍ ما. كذلك يمكن استعمال هذه المعطيات المستخلَصة، وإعادة توزيعها «على الخط» أو في البرمجيات بموجب أيِّ ترخيص، حتى في السياقات التجارية.

التحليلات المتقدِّمة Advanced analytics. ويمكن الذهاب في تحليل معلومات ويكيداتا إلى مدًى أبعد، لاستخلاص رؤًى عميقةٍ جديدةٍ وراء ما كان يبدو من مجرد المظهر الخارجي. ومن بين المقاربات المنهجية المهمة

في هذا الصدد المحاكمةُ المنطقية logical reasoning، حيث تُوَظَّف معلوماتٌ تتَّصل بالعلائق العامة لغرض استخلاص حقائق إضافية؛ فمثلاً: تُعَدُّ خاصِّيَّةُ «الجَدّ أو الجَدَّة» grandparent مهجورةً أو مُماتة، بسببٍ من إمكان استنتاج قيمتها من قيم خاصيَّتَي «أب» و«أم». فإذا كان مطوِّرُ التطبيق مهتمًّا بصفةٍ عامة بالأسلاف، تعيَّنَ عندئذٍ حساب «غُلاقةٍ متعدِّية» transitive closure، إذ إن غلاقةً كهذه مفيدةٌ لكثيرٍ من العلاقات التراتبية hierarchical والمكانية spatial وعلاقات الجزء بالكل partonomical relations. وثمة أنواعٌ أخرى من التحليلات المتقدِّمة تتناول تقييماتٍ إحصائيةً للمعطيات، ومعها المعطيات المترفِّعة العَرَضية incidental metadata المتحصَّلة في المنظومة؛ مثلاً: يستطيع الباحثُ بسهولة تحليلَ مدى شمول المقالات عن طريق اللغة[12]، إضافةً إلى توازن جنوسةِ gender balance الأشخاصِ المذكورين في مقالات ويكيبيديا[14]. وتتيح ويكيداتا، كما في ويكيبيديا، للباحثين مادةً غنيَّةً للدراسة والتنقيب.

تلك مقارباتٌ لا تعدو كونها أوضحَ الطرائق المنهجية لاستثمار المعطيات، ولا بدَّ من أن ثمة استعمالاتٍ كثيرةً يمكن توقُّعها وليست في الحسبان بعدُ، فما زالت ويكيداتا قاعدةً فتيَّة، ودونها شوطٌ بعيدٌ كيما تكتمل. ونحن نتشوَّف إلى تطبيقاتٍ ابتكاريةٍ جديدةٍ تليق بويكيداتا وتطويرها بوصفها قاعدةً معرفية[23].

استشراف المستقبل

من السِّمات التي ما زالت غائبةً دعمُ الاستعلامات المعقَّدة، وهي في الواقع في قَيْدِ التطوير حاليًّا. على أننا، في سياق التنبُّؤ بمستقبل ويكيداتا، نرى أن خططَ فريق التطوير ربما لا ترقى في أهميتها إلى المستوى المنتظَر منها؛ فأكبر الأسئلة المفتوحة هنا يتعلق بتطوُّر مجتمعات مؤسسة ويكيميديا المتعدِّدة، وتآثرها. هل ستنجح ويكيداتا في كسب ثقة تلك المجتمعات؟ وكيف سيتسنّى لكلٍّ منها –بِما يتفرَّد به من لغةٍ وثقافة– النفاذُ والمشاركةُ والإسهامُ في تطوير بنية ويكيداتا؟ وكيف ستستجيب ويكيداتا لمتطلَّبات المجتمعات خارج نطاق ويكيبيديا؟

ويمتد تأثيرُ المجتمع التطوُّعي إلى التطوير التقني لموقع الوِب وبرمجياته الأساسية، بالنظر إلى أن ويكيداتا تقوم على عملية تطويرٍ مفتوحة تستدعي الإسهامات، في حين يوفِّر الموقعُ نفسُه نقاطًا ملحَقة extension points عديدة لِمُضافاتٍ من صنع المستخدِم user-created add-ons. وقد قام المجتمعُ فعلاً بتصميم وتطوير سماتٍ (من قبيل استعمال شاراتٍ badges تَسِمُ المقالات، وتضمين صُوَر، واعتماد التحرير المتعدِّد اللغات multi-language editing). كذلك استحدثَ المجتمعُ طرائقَ لإغناء الجوانب الدلالية للخصائص بترميز قيودٍ (برمجيةٍ) constraints (soft)، كما يتَّضح مثلاً من التوجيه: «لا يجوز أن تشتمل البياناتُ على أكثر من موطن ولادةٍ واحد». وتتولى أدواتٌ خارجيةٌ جمعَ هذه المعلومات وتحليلَ مجموعة المعطيات للكشف عن تجاوزات القيود constraint violations، ونشْر قائمة التجاوزات على ويكيداتا، ليتاح للمحرِّرين التحقُّق من أنها استثناءاتٌ أو أخطاءٌ مقبولة.

ولا جَرَمَ أن هذه الجوانب من سيرورة تطوُّر ويكيداتا Wikidata development process تجسِّد العلاقاتِ الوثيقةَ بين البنية الأساسية التقنية والإجرائيات التحريرية والمحتوى من جهة، والدور الرئيسي الذي يؤدِّيه المجتمعُ في صَوْغ صورة ويكيداتا من جهةٍ أخرى. بيدَ أن المجتمعَ منظومةٌ ديناميكيةٌ، شأنَ ويكيداتا نفسِها؛ فهو لا يقوم على الحالة status أو العضوية membership، بل على الغاية المشتركة المتمثِّلة في تحويل ويكيداتا –ما أمكن ذلك– إلى أعلى الموارد المعرفية دقةً وأكثرها فائدةً وأغناها مادةً. وحريٌّ بهذه الغاية أن تؤْذِنَ بالاستقرار والاستمرار، في الوقت الذي تتيح فيه أيضًا لأيِّ شخصٍ الإسهامَ في رسم مستقبل ويكيداتا.

وقد اجتمعت الآراءُ على أن موسوعة ويكيبيديا من أهم مواقع الوِب اليوم، وهي إرثٌ نفيسٌ يجدر بويكيداتا أن تكون على مستوى أهميته. ففي غضون سنتين فقط أضحت ويكيداتا منصَّةً مهمَّةً لدمج المعلومات من مصادر كثيرة، وهي إلى ذلك تجمِّع مقاديرَ كبيرةً من المعطيات المترِّفعة العَرَضيَّة المتَّصلة بتطوُّرها الذاتي وإسهامها في ويكيبيديا. وهكذا بات لقاعدة ويكيداتا من الإمكانات ما يؤهِّلها لتكون موردًا رئيسيًّا للبحث في تطبيقاتٍ جديدةٍ ومحسَّنة، وتطويرها. ولعلَّها بذلك، وهي القاعدةُ المعرفيةُ المجانية المفتوحة للجميع، تنقلنا خطوةً أقرب باتجاه عالَمٍ يشترك، مجانًا، في جُمَّاع كل المعرفة (الإنسانية).

إقرار

جرى تمويل عمل فريق التطوير على ويكيداتا من تبرُّعاتٍ قدَّمَها معهدُ آلن للذكاء الصُّنعي، وشركة غوغل، ومؤسسة غوردن وبيتي مور، وشركة ياندیكس (الروسية). واضطلعت بالدعمَ الماليّ للبحوث التي أجراها ماركوس كروتش مؤسسةُ البحوث الألمانية، عن طريق مشروع دمج المعطيات والنفاذ إليها بِمرج الأنطولوجيات وقواعد المعطيات (DIAMOND) (منحة إيمي نيذر ذات الرقم KR4381/1-1).

المَراجع

[1] Ayers, P., Matthews, C., and Yates, B. *How Wikipedia Works: And How You Can Be a Part of It.* No Starch Press, San Francisco, CA, 2008.

[2] Barrett, D.J. *MediaWiki.* O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, CA, 2008.

[3] Bennett, R., Hengel-Dittrich, C., O'Neill, E.T., and Tillett, B.B. VIAF (Virtual International Authority File): Linking Die Deutsche Bibliothek and Library of Congress name authority files. In *Proceedings of the World Library and Information Congress 72nd General Conference and Council* (Seoul, South Korea, Aug. 20–24). IFLA, Den Haag, The Netherlands, 2006.

[4] Berners-Lee, T., Hendler, J., and Lassila, O. The Semantic Web. *Scientific American* (May 2001), 96–101.

[5] Bizer, C., Heath, T., and Berners-Lee, T. Linked data: The story so far. *International Journal on Semantic Web and Information Systems 5*, 3 (2009), 1–22.

[6] Bizer, C., Lehmann, J., Kobilarov, G., Auer, S., Becker, C., Cyganiak, R., and Hellmann, S. DBpedia: A crystallization point for the Web of Data. *Journal of Web Semantics 7*, 3 (Sept. 2009), 154–165.

[7] Bollacker, K., Evans, C., Paritosh, P., Sturge, T., and Taylor, J. Freebase: A collaboratively created graph database for structuring human knowledge. In *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data* (Vancouver, BC, Canada, June 9–12). ACM Press, New York, 2008, 1247–1250.

[8] Buneman, P., Cheney, J., Tan, W.-C., and Vansummeren, S. Curated databases. In *Proceedings of the 27th Symposium on Principles of Database Systems*, M. Lenzerini and D. Lembo, Eds. (Vancouver, BC, Canada, June 9–12). ACM Press, New York, 2008, 1–12.

[9] Erxleben, F., Günther, M., Krötzsch, M., Mendez, J., and Vrandečić, D. Introducing Wikidata to the Linked Data Web. In *Proceedings of the 13th International Semantic Web Conference* (Trentino, Italy, Oct. 19–23). Springer, Berlin, 2014.

[10] Ferrucci, D.A., Brown, E.W., Chu-Carroll, J., Fan, J., Gondek, D., Kalyanpur, A., Lally, A., Murdock, J.W., Nyberg, E., Prager, J.M., Schlaefer, N., and Welty, C.A. Building Watson: An overview of the DeepQA project. *AI Magazine 31*, 3 (Fall 2010), 59–79.

[11] Guha, R.V., McCool, R., and Fikes, R. Contexts for the Semantic Web. In *Proceedings of the Third International Semantic Web Conference, Vol. 3298 of LNCS*, S.A. McIlraith, D. Plexousakis, and F. van Harmelen, Eds. (Hiroshima, Japan, Nov. 7–11). Springer, Berlin, 2004, 32–46.

[12] Hale, S.A. *Multilinguals and Wikipedia Editing.* arXiv:1312.0976 [cs.CY], 2013; http://arxiv.org/abs/1312.0976

[13] Hoffart, J., Suchanek, F.M., Berberich, K., and Weikum, G. YAGO2: A spatially and temporally enhanced knowledge base from Wikipedia. *Artificial Intelligence (Special Issue on Artificial Intelligence, Wikipedia, and Semi-Structured Resources) 194* (Jan. 2013), 28–61.

[14] Klein, M. and Kyrios, A. VIAFbot and the integration of library data on Wikipedia. *code{4}lib Journal 22* (Oct. 2013); http://journal.code4lib.org/articles/8964

[15] Krötzsch, M., Vrandečić, D., Volkel, M., Haller, H., and Studer, R. Semantic Wikipedia. *Journal of Web Semantics 5*, 4 (Dec. 2007), 251–261.

[16] Lenat, D.B. and Guha, R.V. *Building Large Knowledge- Based Systems: Representation and Inference in the Cyc Project.* Addison-Wesley, Boston, MA, 1989.

[17] Leuf, B. and Cunningham, W. *The Wiki Way: Quick Collaboration on the Web.* Addison-Wesley Professional, Boston, MA, 2001.

[18] MacGregor, R.M. Representing reified relations in Loom. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence 5*, 2–3 (1993), 179–183.

[19] Moreau, L. The foundations for provenance on the Web. *Foundations and Trends in Web Science 2*, 2–3 (Oct. 2010), 99–241.

[20] Noy, N. and Rector, A., Eds. *Defining N-ary Relations on the Semantic Web.* W3C Working Group Note, Apr. 12, 2006; http://www.w3.org/TR/swbp-n-aryRelations/

[21] Tunstall-Pedoe, W. True Knowledge: Open-domain question answering using structured knowledge and inference. *AI Magazine 31*, 3 (Fall 2010), 80–92.

[22] Unxos GmbH. GeoNames (launched 2005); http://www.geonames.org

[23] Vrandečić, D. The rise of Wikidata. *IEEE Intelligent Systems 28*, 4 (July/Aug. 2013), 90–95.

[24] Wolfram Research. Wolfram Alpha (launched 2009); https://www.wolframalpha.com

المؤلِّفان

دِني فراندِيزيتش Denny Vrandečić (vrandecic@google.com) باحث في مجال الأنطولوجيا في شركة غوغل بمدينة سان فرانسيسكو. شغلَ منصبَ مدير مشروع ويكيداتا بمؤسسة ويكيميديا دويتشلاند، برلين، حتى شهر أيلول (سبتمبر) 2013.

ماركوس كروتش Markus Krötzsch (markus.kroetzsch@tu-dresden.de) مدير مجموعة التوصيف والبحث لنموذج معطيات ويكيداتا في جامعة دْرِسْدِن التقنية، درسدن، ألمانيا.

المعطيات الضخمة تلتقي مع العلوم الضخمة

BIG DATA MEETS BIG SCIENCE*

Alex Wright
ترجمة: د. خالد مصري
مراجعة: د. سعيد دسوقي

تُجبر التجهيزات العلمية من الجيل القادم الباحثين على التساؤل عن حدود الحوسبة الغزيرة التوازي.

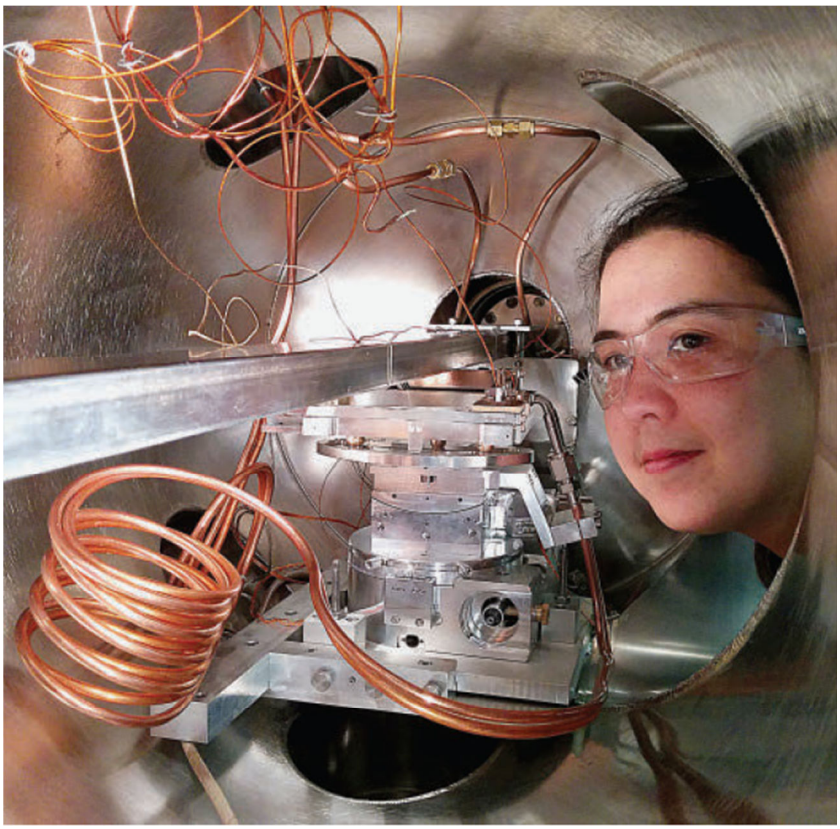
على تلة منعزلة خارج بالو ألتو في كاليفورنيا Palo Alto, CA، يقود جاسيك بيكلا Jacek Bekla فريقاً من الباحثين في مخبر المُسرِّع الوطني SLAC، الذين يبنون بهدوء واحدةً من أكبر قواعد المعطيات في العالم.

سيزوَّد تلسكوبُ المراقبة ذو حقل الرؤية الكبير Large Synoptic Survey Telescope (LSST) المُقرر أن يبدأ العملَ في عام 2020، بكَمِرة 3.2 جيغا بكسل تلتقط صوراً فائقة الميْز resolution للسماء كل 15 ثانية، في كل ليلة، ولمدة 10 سنوات على الأقل. سيُخزِّن النظام، في نهاية المطاف، أكثر من 100 بيتا بايت petabyte من المعطيات (نحو 20 مليون محتوى قرص فيديويّ رقميّ DVD)، ولكن هذا يكاد لا يمثل جزءًا من المعطيات التي ستمر فعلياً عبر الكمِرة.

يقول بيكلا "مع أننا نتعامل مع كميات هائلة من المعطيات، فإن هناك كمية أكبر من المعطيات التي لا نحفظها." يفسِّر بيكلا ذلك، بأنه بوجود 40 بليون إلى خمسين بليون جرم فلكي محتمل في حقل رؤية الكمِرة، سيكون من المستحيل تخزين كل بكسل إلى الأبد. عوضاً عن ذلك، سيستخرج النظام المعطيات المهمة من الصور في الزمن الحقيقي، ويهمل بعدها ببساطة الصور الأصلية.

مع ازدياد التجهيزات العلمية العالية القدرة والواسعة النطاق large-scale التي تبدأ بالعمل– ابتداءً من مُصادم الهادرونات الكبير Large Hadron Collider (LHC) ووصولاً إلى معالجات الحزمة الضوئية المتقدمة وأدوات التصوير الجزيئية– بدأت هذه التجهيزات بتوليد المزيد من المعطيات التي لا تستطيع حتى الحواسيب الفائقة القدرة والأكثر غزارة في التوازي معالجتها. كمحصلةٍ لذلك، يستكشف العلماء مقارَبات جديدة لتقليل هذه المجموعات من المعطيات إلى أحجام يمكن إدارتها، وإدخال التعلم الجديد عن الحوسبة المعتمدة على السحب من القطاع الخاص، وفي بعض الحالات باستكشاف إمكانات أُطر العمل الناشئة، مثل الحوسبة الكمومية (quantum computing).

**نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 57، العدد 7، تموز (يوليه) 2014، الصفحات 13 – 15.*



الكيميائية كارينا شابمان Karena Chapman من مخبر أرغون الوطني Argonne National Laboratory وهي تُحدِّق النظر بداخل حجرة خلاء موحِّد اللون Laue monochromator الجديد الذي يعمل في مجال الطاقات العالية ويستعمل بلورة السليكون[1] الذي رُكِّب حديثاً في منبع الفوتون المتقدم في أرغونِ Argonne Advanced Photon Source، وهو نسخة مرقَّاة زادتْ تدفقَ الأشعة السينية (عدد الفوتونات المُركَّزة على العينة المدروسة) سبعَ عشرة مرة.

تتناقض هذه الاستراتيجيات تناقضاً صارخاً مع النهج العلمي التقليدي للحوسبة العالية الأداء، الذي اعتمد منذ أمدٍ بعيد على منهج "القوة العمياء" brute force الذي يستدعي ربط عددٍ متزايدٍ من صفيفات وحدات المعالجة المركزية والأقراص بعضها ببعض. مع ذلك، وبعد عقودٍ طويلة من الافتتان بالحوسبة الفائقة المتوازية، بدأ بعض الباحثين بالانقلاب رأساً على عقب على محدودية هذا النهج.

يقول سكوت أرونسون Scott Aaronson الأستاذ في معهد ماساتشوسيتس للتقانة "لقد جرى بالفعل خرق قانون مور Moore"، ويقول أيضاً إن قوانين الفيزياء قد حوصِرت بالقول المأثور الشهير لمؤسس شركة إنتل Intel السيد غوردون مور، الذي ينص على أن عدد الترانزستورات في الدارات المتكاملة سيتضاعف كل عامين.

يُقاوم الباحثون أيضاً كلاً من القيود الاقتصادية والخوارزمية التي تُجبرهم على استكشاف طرائق تتجاوز التقنية المُجرَّبة، الصحيحة والقائمة على استعمال المزيد والمزيد من المعالجات لحل مسألةٍ ما.

[1] كشبكة انعراج بطريقة النفاذ بدلاً من الانعكاس كما في موحِّد اللون من نوع براغ Bragg. (المترجم)

في مخبر أرغون Argonne الوطني في إيلينوي Illinois، يقود كريس جاكوبسن Chris Jacobsen فريقاً يعمل في منبع الفوتون المتقدم Advanced Photon Source (APS) وهو سينكروترون synchrotron ضخم بحجم ملعب كرة قدم، يولِّد فوتونات الأشعة السينية بتدوير الإلكترونات حول جهازٍ دائري بسرعة قريبة من سرعة الضوء. يعتمد باحثون من 65 محطة ميدانية مختلفة على الآلة لتجميع معطيات التصوير لمجالٍ واسع من المواضيع: من البروتينات والشرائط النانوية إلى بطاريات أيونات الليثيوم lithium-ion والمحولات الحفَّازة[2] catalytic converters.

تتفاوت التجارب تفاوتاً كبيراً من حيث المجال، ولكن المعطيات التي تجمعها تأتي دائماً على شكل رشقات كثيفة تصل حتى 11 جيغابايت من المعطيات الخام في الدقيقة. يوزِّع منبع الفوتون المتقدم APS في شهر نموذجي قُرابة 112 تيرابايت من المعطيات. يقول جاكوبسن "نحصل على الكثير من المعطيات، بحيث أننا لا نستطيع مجرد الجلوس هناك وفحصها باليد." ويضيف "تستغرق كل هذه المعالجات زمناً للتواصل فيما بينها، ولا يمكنها إرسال رسائل أسرع من سرعة الضوء– وهذا نوع من الحدِّ النهائي."

بالنظر إلى هذه القيود، يبحث الفريق باستمرار عن طرق أكثر جدوى لمساعدة الباحثين على تفسير نتائج اختباراتهم. "ما هي السمات التي يمكننا استخلاصها من المعطيات الخام؟ ماذا يمكننا أن نفهم، وليس مجرد أن نقيس؟"

مع مثل هذا العدد من الباحثين المتباعدين، جاهد فريق جاكوبسن أيضاً لتحديد أفضل سبيل لتسليم مجموعات المعطيات datasets إلى مستخدميه النهائيين الكثيرين. في السابق، اعتمد الكثير من الفِرَق على sneakernets[3] الغائية الخاصة بهم، آخذين سواقاتهم الصلبة إلى المنشأة لبضعة أيام قبل إعادتها إلى مكانها الأصلي. مع ذلك، ومع استمرار المخبر بتحسين كواشفه استمرت معدلات المعطيات بالازدياد، مجبرةً فريق أرغون على استكشاف مقاربات جديدة تعتمد على السحب لتوفير المعطيات للباحثين.

يقول جاكوبسن "نحن نحاول التقدم نحو استراتيجية حوسبة أكثر تلاحماً cohesive."

حديثاً، تعاون فيزيائيو مخبر أرغون مع زملائهم من قسمي الرياضيات التطبيقية وعلوم الحاسوب لتطوير أدواتٍ جديدة لتمكين الباحثين من أتمتة نقل المعطيات من الحاسوب الموضوع على خط حزمة الجسيمات beamline إلى مخزن مركزي للمعطيات حيث يمكن استمثالها، وصُنْع نسخ إضافية منها، وإدارتها. بعد ذلك، تصبح هذه المعطيات متاحة بواسطة وصلة TCP/IP آمنة، باستعمال أداة تُسمى Globus Online (globus.org)، ومُخزَّنة باستعمال خدمات وب من أمازون Amazon Web Services (AWS)– وهذا ما يُمكِّن من اتصالات متوازية متعددة.

في سياقٍ مماثل، يستكشف الباحثون في المخبر الوطني في بروكهافن Brookhaven في وزارة الطاقة الأمريكية مقارباتٍ تعتمد على السحب لتسخير كنوز المعلومات الدفينة والضخمة التي تنتجها حالياً تجربة ATLAS[4] في مُصادم الهادرونات الأوربي الكبير (LHC)، المشهورة باكتشاف بوزون هيغز Higgs boson[5] الذي يصعب الحصول عليه.

---

[2] جهاز يوضع في عادم محرك السيارة يحوي حفَّازاً لتحويل الغازات الملوِّثة إلى غازات أقل ضرراً. (المترجم)

[3] مصطلح غير رسمي لوصف نقل المعلومات الإلكترونية وخاصةً الملفات الحاسوبية من حاسوبٍ إلى آخر باستعمال أوساط قابلة للنزع مثل الأقراص الصلبة والسواقات الصلبة الخارجية والمساري التسلسلية العميمة USB عوضاً عن النقل بالشبكات الحاسوبية. (المترجم)

[4] ATLAS تجربة في فيزياء الجسيمات في مصادم الهادرونات الكبير في CERN تبحث عن كشوف جديدة عند حدوث تصادم مباشر بين بروتونات عالية الطاقة كثيراً . سنتعرف من ATLAS على القوى الأساسية التي شكَّلت الكون منذ بداية الزمن وهذا سيحدد مصيره. (المترجم)

[5] جسيم أوَّليّ في النموذج العياري لفيزياء الجسيمات. (المترجم)

لقد ولَّدَت تجربة ATLAS فعلياً 140 بيتا بايت، موزَّعة بين 100 مركز حوسبة مختلف، يتركز معظمها في 10 مراكز حوسبة ضخمة مثل المجلس الأوربي للبحث النووي CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) وبروكهافن.

يعمل الفيزيائي أليكسي كليمنتوف Alexei Klimentov على إطار عمل لإدارة مشروع الحوسبة الهائل التعقيد هذا–الذي يشمل ما يُقدَّر بثلاثة آلاف فيزيائي يولِّدون أكثر من مليوني عمل حوسبة يومياً–باستعمال نظام يُسمى الإنتاج والتحليل الموزَّع PanDa (Production and Distributed Analysis)، يقول كليمنتوف "إن PanDa نظام رائد". ويتابع "لدى هذا النظام معلومات عن الموقع والبرمجيات والتخزين ومنافذ وحدات المعالجة المركزية CPU المتاحة. فهو من ثم، يوائم بينها، وفقاً للموارد المتاحة، بحسب الحِمْل الصافي." على سبيل المثال، يتطلب مشروع محاكاة نموذجياً الكثير من المعالجة والقليل من تخزين المعطيات، في حين يتطلب عملُ تحليل معطيات معقدٌ النفاذَ السريع لمِسْواقات صلبة ضخمة.

يمكن لنظام PanDa أن يستعمل الموارد المتاحة الاستعمالَ الأمثل، بتوزيع هذه الأعمال بواسطة السحابة على النظام المتاح الأكثر ملائمةً، في حين يُقصِّر زمن توقف النظام إلى الحد الأدنى. مع ذلك، فإنّ نقلَ 140 بيتا بايت من المعطيات في أنحاء العالم ليس بالمهمة الصغيرة.

تبزغ هندسة آليات النقل السريع والموثوق للمعطيات كواحدةٍ من أهم التحديات للعلماء الذين يعملون على معطيات ضخمة– ليس فقط لنقلِ ملف من حاسوب إلى حاسوب، ولكن أيضاً لنقلِ المعطيات من الذاكرة وإليها.

يقول بيكلا "في الحوسبة العالية الأداء التقليدية يوجد معطيات قليلة جداً وعدد قليل جداً من العمليات دخل/خرج"، "بحيث تُقرأ المعطيات في الذاكرة وتجري المعالجة في الذاكرة أساساً. ولكن في عالم المعطيات الضخمة، لا يمكن القيام بذلك. لا يمكن وضع تريليون قطعة معلومات في الذاكرة في الوقت ذاته."

يُردِّد أرنسون Aaronson من معهد ماساتشوسيتس للتقانة MIT هذا الهم. وهو يقول "إن عنق الزجاجة الحقيقي، في معظم التطبيقات، ليس زمن المعالجة، بل الحاجة المستمرة لاستعادة الأشياء من الذاكرة. في الكثير من البرامج، يبقى المعالج في حالة انتظار idle، منتظراً عودة الذاكرة." فالتحدي إذن هو كيف نُصمِّم ذواكر سريعةً وكبيرة وسريعة الاستجابة.

يُشبِّه أرنسون مشكلة الحوسبة التقليدية بالمعضلة الأبدية لإيجاد شقة في مدينة نيويورك: "إذ يمكنك الحصول على شقة في حي مانهاتن حيث تكون الشقة قريبةً من كل شيء ولكنها صغيرة وغالية، أو يمكنك الذهاب إلى حي Long Island حيث تكون الشقة أرخص ولكنها بعيدة عن كل شيء." "بالمثل، يجب أن يتنقل علماء الحاسوب بين توازنات tradeoffs معقدة في محاولة استمثال أداء النظام في التعامل مع مجموعات المعطيات الضخمة؟"

يُجسِّد هذا التوتر تحدي الحوسبة السحابية: كيف نستفيد من وفورات economies السحابة دون فقدان المكاسب من وجود كل شيء في الجوار القريب؟

يقول أرنسون "يمكنك استعمال المزيد والمزيد من التوازي في المسائل، ولكن مقدار سعة القرص قد استُنفدت استنفاداً هائلاً،" ويتابع أرنسون "حتى لو كان لديك من حيث المبدأ كل هذه الإجرائيات المتوازية، سيكون من الصعب كتابة رماز يستفيد من التوازي."

تعتمد المقاربة التقليدية للحوسبة العالية الأداء على ملايين وحدات المعالجة المركزية لإجراء العديد من الحسابات على مقادير صغيرة نسبياً من المعطيات. كانت الأنظمة الواسعة النطاق، حتى وقتٍ قريب، تقع في هذه الفئة. أما الآن، في العالم العلمي، حيث يتزايد ارتباط المعطيات بعضها ببعض، فقد صارت المسائل عصيَّةً على التوازي.

يَعقِد بعض الباحثين الأملَ على الحوسبة الكمومية، وهي مجال يحظى بدعايةٍ كبيرة ويعِدُ بمكاسب هائلة في السرعة الحاسوبية. مع ذلك، ينصح أرنسون بتوخي الحذر. "هناك إغراء للناس لكي ينظروا إلى الحوسبة الكمومية ويقولوا، "لا بد أن هذا هو الشيء الذي سيُبقي على قانون مور،" "ولكن الكثير من ذلك يستند إلى تصورات خاطئة عن ماهية الحاسوب الكمومي. إنه نوع من الحواسيب مختلف اختلافاً جوهرياً."

على خلاف الحاسوب التقليدي الذي يمكنه إجراء عددٍ كبير من الحسابات في الوقت ذاته، تعتمد الحواسيب الكمومية على الآثار الخفية من الميكانيك الكمومي التي يمكنها حلَّ بعض أصناف المسائل بسرعة أكبر؛ كمثال، فكُّ الرمازات التعموية أو تحليل الأعداد الكبيرة إلى عوامل أولية أو محاكاة الفيزياء الكمومية. أما في حالة مهام الحوسبة التقليدية الأخرى، مثل الاستمثال التوافيقي أو جدولة خطوط الطيران أو الخوارزميات adiabatic، فليس من الواضح على الإطلاق أن الحواسيب الكمومية ستقدم أي كسب معتبر في الأداء.

يقول أرنسون "من الممكن التصور أن الحاسوب الكمومي يستطيع المساعدة في مسألة طي البروتين[6] protein folding أو سَلسَلة DNA، ولكن المزايا ليست جليِّة." ويتابع أرنسون "يمكن أن نستفيد من مزايا الحاسوب الكمومي فقط عندما يمكننا معرفة كيف نستثمر التداخل الكمومي."

في المدى القريب، ما يُعزِّي الباحثين العلميين هو معرفتهم أنهم ليسوا وحدهم في التعامل مع تحديات المعطيات الضخمة. يدفع النمو الضخم للإنترنت، وهي مستهلك للمعطيات، العديدَ من الشركات إلى موقع مماثل.

في عام 2007، نظَّم بيكلا ورشة عمل من 60 شخصاً أطلق عليهم اسم مجموعة قاعدة المعطيات الكبيرة جداً Extremely Large Database group (ELDB)، ومنذ ذلك الحين نَمَت لتصبح شبكةً لأكثر من 1000 عضو، تمتد إلى عددٍ كبير من مراكز البحث العلمي، إضافةً إلى مشاركين من القطاع الخاص من غوغل وأمازون و ebay و LinkedIn و Yahoo وغيرها.

تجد هذه المنظمات نفسها تعمل بازدياد في مناطق متداخلة: تتعامل مع مجموعات كبيرة من الصور أو السلاسل الزمنية أو تحديد أفضل طريقة للكشف عن المعطيات الشاذة في مجموعات المعطيات الكبيرة، سواءً على شكل رشقات من الأشعة غاما أو اختراقات أمنية.

يقول بيكلا "نلاحظ وجود قواسم مشتركة بين ما يفعله علماء الفلك وما يفعله ebay وَ وول ستريت Wall Street."

يقول بيكلا "من كان يظن أن الطريق إلى كشف أسرار الكون يمكن أن يمر عبر ebay؟"، "إنها مفاجأة."

لمزيد من الاطلاع

- *Francesco De Carlo Do˘ga Gürsoy et al.* Scientific Data Exchange: A schema for HDF5-based storage of raw and analyzed data. Submitted to *J. Synchrotron Radiation.*
- *Rachel Mak, Mirna Lerotic, Holger Fleckenstein, Stefan Vogt, Stefan M. Wild, Sven Leyffer, Yefim Sheynkin, and Chris Jacobsen.* Non-negative matrix analysis for effective feature extraction in X-ray spectromicroscopy. Submitted to the Royal Society of Chemistry for a Faraday Discussion meeting. DOI: 10.1039/c000000x

[5] هي العملية التي تتخذ فيها بنية البروتين شكلها الوظيفي. (المترجم)

- *Michael Stonebraker, Paul Brown, Donghu Zhang and Jacek Becla.* SciDB: A database management system for applications with complex analytics. *Computing in Science & Engineering*, 15, 54-62 (2013), DOI:http://dx.doi.org/10.1109/MCSE.2013.19

المؤلِّف

أليكس رايت (Alex Wright) كاتب ومصمم بنيان معلوماتي، مقيم في بروكلين Brooklyn بولاية نيويورك الأمريكية.

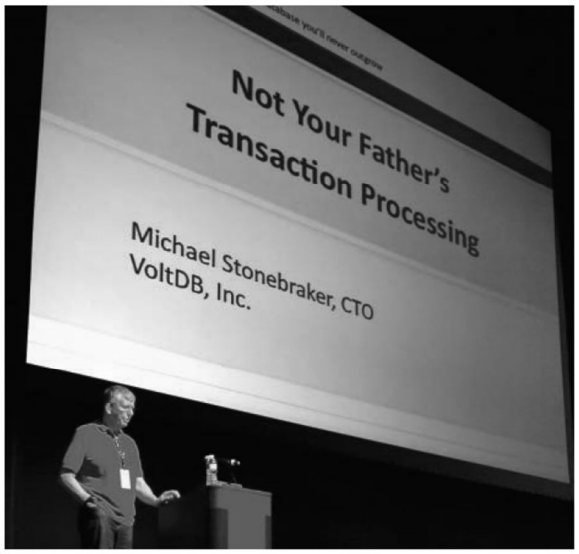
قوة الذاكرة

THE POWER OF MEMORY*

Neil Savage
ترجمة: د. نزار الحافظ [1]
مراجعة: د. مكي الحسني

تَعِد قواعد المعطيات التي في الذاكرة بتحقيق سرعات معالجة أكبر.

إنّ الحفاظ على المعطيات في الذاكرة بدلاً من جلبها من القرص يمكن أن يسرِّع معالجةَ تلك المعطيات عدةَ مراتب كِبَر [2]، وهذا ما يفسِّر استباق شركات قواعد المعطيات للحصول على أسهم في سوق "قواعد المعطيات التي في الذاكرة" in-memory database. ادخلتْ هذا العام شركاتُ IBM وأوراكل ومَيْكروسوفت إصدارات من قواعد معطيات كهذه، في حين تبيعُ شركة SAP منتَجها Hana منذ ثلاثة أعوام خلت. وثمة شركات صغيرة، منها Aerospike، VoltDB، MemSQL تشارك جميعها في الحدث أيضاً.



Michael Stonebraker، خبيرُ قواعد المعطيات وأحدُ مؤسسي VoltDB، يقدِّم عرضاً حول قواعد المعطيات التي في الذاكرة في مؤتمر Strange Loop المتعدد التخصصات في أيلول 2012.

ما تَعِدُ به تلك الشركات هو طريقة لتسريعِ نشاطاتٍ ضرورية للأعمال، ومنها معالجة المبادلات مع زبائنها، أو تحليل كميات المعلومات المتزايدة في النمو التي تولِّدها تلك المبادلات. يقول Amit Sinha، كبيرُ نوّاب الرئيس للتسويق في شركة SAP التي تتخذ مقراً رئيسياً لها في والدورف–ألمانية، "أعتقد أن الكمون هائل". "إن تغيير مركز المعطيات من القرص إلى الذاكرة له مفاعيل كبيرة."

إنّ قواعد المعطيات التي في الذاكرة، وتُعْرف أيضاً بقواعد المعطيات التي في الذاكرة الرئيسية، تسرِّعُ المعالجةَ بطريقتين أساسيتين: فمع معطيات متاحة في الذاكرة، يختفي التأخير الزمني الذي يسببه جلبُ المعطيات من القرص؛ ثانياً: تخزَّن المعطيات على القرص ضمن كتل، وللحصول على قطعة المعطيات المطلوبة، يُحْضرُ الحاسوب كتلةً كاملة من القرص، ويفك ترميزها، وينفِّذ

* *نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 57، العدد 9، أيلول (سبتمبر) 2014، الصفحات 15 – 17.*

[1] مدير بحوث في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا.

[2] orders of magnitude، أيْ 10^n (n عدد صحيح: 2، 3، ...) المراجع العلمي.

الإجرائية على قطعة المعطيات المطلوبة، ويرمِّز الكتلة ثانية، ويعيدها إلى مكانها الذي أُحضرتْ منه.

"إن بِنى المعطيات والخوارزميات المستعملة لإدارة كل ذلك تصبح معقدة كثيراً وتكوِّن عبئاً كبيراً جداً، ولكن عندما تخزِّن المعطيات في الذاكرة تتخلّص من كل ذلك. وعندما توضع المعطيات بتمامها في الذاكرة فإنك تكون أكثر كفاءة جدًا." هذا ما قاله Paul Larson، الباحث الرئيسي لدى شركة Microsoft Research في Redmond, WA، الذي عمل على قاعدة المعطيات التي في الذاكرة Hekaton في ميكروسوفت. فمن الصعب أن نحسب كمياً مقدار تحسن الكفاءة الذي توفره قاعدة المعطيات التي في الذاكرة؛ فالجواب على هذا يتأثر بنوع المعطيات وكميتها والمعالجة التي تخضع لها. يقول لارسون إن ذلك "يَعتمد اعتماداً وثيقاً على حِمْل العمل (workload)."

ويقول Michael Stonebraker، خبيرُ قواعدِ معطياتٍ رائدٌ وأحدُ مؤسسي VoltDB في Bedford، MA، وأستاذ مساعد في علوم الحاسوب في معهد MIT (معهد ماساشوسيتس التقاني) في كامبرِدج، ماساشوسيتس (MA)، إنّ مجال تسريع الإجرائيات يمكن أن يكون "بين الهامشي والكبير". ويقول إن بعض الإجرائيات قد يتحسن أداؤها 50 أو 100 مرة.

ويقول Sinha: "ومع أن زيادة السرعة تتغير وفقاً لتطبيقات محددة، فإن بعضاً من زبائن شركة SAP نجحوا في تحقيقِ تحسين قدرُه 10,000 مرة"، "إذ العديد من الإجرائيات التي كانت تأخذ دقائق أصبحت تنفَّذ الآن بثوان. وهذا يمكن أن يُعَدّ شيئاً هاماً لشركات الأعمال، مثلاً بالسماح لها بإجراء تحليل التزوير في الوقت الحقيقي." ويقول: "قبل أن يرمي (صرّاف ATM) بطاقةَ الاعتماد، قد تتطلبُ القيامَ بتحليل لصلاحية العملية."

يمكن لقواعد المعطيات التي في الذاكرة أن تسمح أيضاً بأنواع جديدة من التحليلات. تخيّل أنك تعمل على برمجيات مُضافة على مستوى العالم (World Wide Widgets)، وتتمثل مهمتك في ضمان شراء مواد أولية كافية وتحويلها إلى المصانع الصائبة كي تزوِّدَ كل الأسواق (walmarts) الموجودة في منطقة معيّنة بالكميات التي على الأرجح سوف تبيعها من تلك البرمجيات المُضافة، دون زيادةٍ لأن الاحتفاظ في المخازن يكلِّف مالاً، ولا نقصانٍ لأن ذلك يعني خسارة لك في المبيعات. وللقيام بهذه المهمة، التي تسمى في صناعة سلسلة التزويد بـ "تخطيط المتطلبات من المواد"، عليك تتبُّع كل من المبيعات في المخازن المختلفة ومخزونك من المواد الخام. ولو أنك، بدلاً من أداء تلك التحليلات أسبوعياً أو يومياً، استطعت القيام بها في الزمن الحقيقي، لأمكنك معايرة الإجرائية بدقة أعلى والحصول على ميزانٍ أكثر دقة بين التزويد والطلب. يقول Sinha: "يمكن حقاً أن يكلِّف ذاك المستوى من التخطيط شركةَ الأعمال مبالغَ طائلة."

ويتساءل آخرون: هل حقاً طُرِحتْ مسألة أن استعمال قواعد المعطيات التي في الذاكرة لتحليلات المعطيات يُحقِّق ميْزةً اقتصادية واضحة؟ يقول Samuel Madden، أستاذ في علوم الحاسوب ومخبر الذكاء الصنعي في معهد MIT، "من المثير للاهتمام أنهم يستشعرون وجودَ سوق تجاري جيد."

لا يناقش Madden كونَ قواعد المعطيات التي في الذاكرة أسرع. ويقول: "يمكنك التعامل مع عدد من التسجيلات في الثانية وهي في الذاكرة أكثر منه في بنيانٍ تقليدي معتمِدٍ على القرص. لكنْ، ثمة طرائق أخرى لإعادة تنظيم الإجرائية، بدءاً من تقليل عدد التعليمات وانتهاءً بترتيب المعطيات وفق الأعمدة بدلاً من الأسطر، يمكن أن تعطي زيادةً مماثلة في الكفاءة أو على الأقل، زيادةً كافية تجعل التكلفة المضافة للذاكرة الإضافية غير مبرَّرة. يقول Madden: "إن الأداء الذي تحققه تلك الأشياء قد لا يُحدِث كل ذاك الفرق."

إن تحليلات المعطيات ليست إلا جزءاً واحداً من عالم قواعد المعطيات. يَقسم Stonebraker عالمَ قواعد المعطيات إلى ثلاثة أجزاء: ثلث هو مستودعات معطيات (data warehouses)، وثلث هو معالجة المبادلات الآنية online

transaction processing (OLTP)، والثلث الباقي هو كل ما عدا ذلك، مثلاً Hadoop، وقواعد المعطيات البيانية، إلخ... في حالة المعالجة OLTP، يقرّ كل من Stonebraker و Madden أن الفائدة أوضح.

يتطلب إجراءُ تحليلات المعطيات على مستودعات المعطيات مسحَ عدة تسجيلات، ربما ملايين أو بلايين التسجيلات، التي نادراً ما تتغير، إن تغيّرت أصلاً. في حالة المعالجة OLTP، مثلاً معالجة طلبية على موقع أمازون أو تحويل مبلغ بين حسابين مصرفيين، يتعامل الحاسوب مع كمية صغيرة من المعطيات، ويُجري عملية صغيرة عليها، من قبيل تحديث رصيد. إن قدرة شركة على أداء مبادلات كهذه بسرعة أكبر يعني أن بمقدور الشركة إما إجراء مزيد من تلك المبادلات في مدةٍ معطاة، وهذا ما ينمّي أعمالها، وإما القيام بكمية العمل ذاتها باستعمال عتاد معالجة أقل، وهذا ما يختصر تكاليف البنى الأساسية. يقول Madden: "بدلاً من عشرات المِلّي ثانيات لكل مبادلة (msec/transaction)، يمكنك إحراز مئات المكروثانيات (µsec)، وهذا يعني كثيراً في بعض التطبيقات." التجارة الحاسوبية في سُوق وول ستريت هي أحد أولئك المستفيدين؛ "إذا استطعت إطلاق صفقتك التجارية قبل غيرك بمِلّي ثانية واحدة (1 ms)، أمكنك كسب المزيد من المال."

يقول Stonebraker: من وجهة نظر اقتصادية، قد تكون المعالجة OLTP جيدة الملاءمة لقواعد المعطيات التي في الذاكرة، وذلك بسبب حجومها النسبية. فقاعدة معطيات بحجم تيرابايت لمعالجة OLTP يمكن أن تُعَدّ كبيرةً؛ وبحجم عشرة تيرابايت (TB) تُعَدّ ضخمة. يكلِّف التيرابايت الواحد من الذاكرة الرئيسية اليوم أقل من 30,000 دولاراً، ومن ثم فإن الكسب في الكفاءة يمكن أن يجعل ذاك المبلغ متيسراً لبعض الشركات. ويقول: "في المقابل، يزداد حجم مستودعات المعطيات بمعدل أسرع من معدل نقصان ثمن الذاكرة المركزية." فمثلاً، جمعتْ شركةُ اللعب Zynga قرابةً خمسة بيتابايت (petabytes) في مستودع معطياتها. ويقول Stonebraker: " أنت لا تنوي شراء 5PB من الذاكرة الرئيسية."

يرى Larson جانبَ التحليلات مزدهراً كذلك. ويقول: "إنّ التوجه العام هو نحو تحليلات أكثر بالزمن الحقيقي، وجزئياً لأنه بمقدورنا الآن القيام بها." "إنها مُمْكِنة تقانياً" لأن ذاكرة الرام الديناميكية DRAM أصبحت أكثر تكثيفاً ورخصاً، وهذا ما يمكِّن من وضعِ كمّ كبير من المعطيات في الذاكرة، ولأنّ قدرة المعالجة قد ازدادت إلى حد يسمح بالتعامل مع كل تلك المعطيات.

بيد أن الذاكرة الديناميكية DRAM طبعاً متلاشية volatile؛ فعند انقطاع الطاقة تضيع المعطيات. وهذا يعني أنه توجد دوماً حاجة إلى وجود نَسخ احتياطي، وهذا يزيد من التكلفة ويبطّئ الأداء. من أساليب النسخ الاحتياطي للمعطيات أن تُكرَّر على ذاكرة DRAM منفصلة ذات مصدر طاقة مختلف، وهذا يعني إمكان انتقال الشركة إلى نسختها الاحتياطية بتأخير طفيف. يقول Larson : "يَعتمد عدد النسخ المكرَّرة التي تشغِّلها على مستوى عدم ثقتك وعلى المبلغ الذي تملكه."

ثمة طريقة ثانية للنسخ الاحتياطي للمعطيات تتمثل في اتخاذ نسخة غير محدَّثة قليلاً من المعطيات على القرص في ذاكرة ومْضية (flash memory)، والاحتفاظ بقيْدٍ (سِجِلّ log) لأوامر المبادلة في الذاكرة الومْضية. فإذا مُحِيَت المعطيات، أمكن نقل النسخة غير المحدَّثة من القرص واستعمال القيْد لإعادة تنفيذ المبادلات حتى تصبح المعطيات محدَّثة. تَعتمد الكيفية التي تتبعها شركة معطاة لتولّي النسخ الاحتياطي على السرعة التي تتطلبها الشركة لاستعادة تلك المعطيات والمبلغ الذي يمكنها صرفه. مع ذلك، يشير Madden إلى أن "نظم قواعد المعطيات تلك لا تنهار بتمامها بذاك التواتر."

الانهيارات قد تأتي في الدرجة الثانية في الاهتمام في المستقبل، إذا قدِّم صانعو الأموال، كشركة إنتل، تقانةَ لامتلاشية nonvolatile، مثل ذاكرة رام الممغنطة (magnetic RAM) أو الذاكرة المتغيرة الطور (phase-change memory). يقول Larson إن الباحثين يرَون أن مستقبل الذواكر واعد. ويقول: "بدأت تقانة الذواكر تَظهر أنها في حالة جيدة جداً، والسعات تبدو كبيرة جداً." "لكن ما لا يرغبون في البوح به في هذه المرحلة هو متى وبأي سعر."

يقول Larson: سوف تكون الذواكر اللامتلاشية على الأرجح أبطأ من ذاكرة الرام الديناميكية DRAM، لكنْ إن كان ثمنها أقل كثيراً، فتلك موازنةً قيّمة. وثمة مسألة أخرى يمكن أن يكون لها تأثير في مجال قواعد المعطيات التي في الذاكرة، هي وجود قواعد المعطيات الموزَّعة. فعندما تكون المعطيات التي يحتاج إليها التطبيق منشورة على آلات مختلفة، فإن الفائدة من الوجود في الذاكرة يمكن أن تزول. يقول Larson: يُعَدّ بناءُ نظام قاعدة معطيات فوق نظام ذاكرة تشاركية مهمةً صعبة." "فأنا لا أرى كيف نجعلها كَفُوءة."

أما Stonebraker فهو أكثر حِدة؛ يقول: "إن الذاكرة الموزَّعة هي مجرد فكرة خاطئة تماماً." "إذ لا توجد نظم قواعد معطيات جدية تشغِّل على ذاكرة موزَّعة." وأما Sinha، في المقابل، فيقول إن الذاكرة الموزَّعة يمكن أن يكون لها دور بنّاء. فبوجود الاتصالات البينية السريعة، يكون أحياناً النفاذُ إلى الذاكرة الرئيسية في آلةٍ مجاورةٍ أسهل. ومن المهم أن نضْمن كون قطعة المعطيات تُكتب في موضع واحد فقط من الذاكرة، وكون المعطيات مرتَّبة بحيث أنها نادراً ما تتجاوز تجزيئة واحدة. ويقول: "تكون ذكياً إن وضعتَ المعطيات مجمَّعة معاً."

يرى Stonebraker قواعد المعطيات التي في الذاكرة أنها ستحلّ في النهاية مكانَ المبادلات الآنية online transactions. ويقول: "أعتقد أن الذاكرة الرئيسية هي الحل لثلث عالم قواعد المعطيات." ويتوقع انقضاء بقية العقد كي يتحقق ذاك الحل، وهذا حتى تنضج الخوارزميات وتَختبر شركات الأعمال قيمة التكنولوجيا. يقول: "إن الأمر باكر في السُّوق."

مطالعة إضافية

- *Lahiri, T., Niemat, M-A., Folkman, S.* Oracle TimesTen: An In-Memory Database for Enterprise Applications, *Bull. IEEE Comp. Soc. Tech. Comm. Data Engrg. 36* (2), 6-13, 2013.
- *Lindström, J., Raatikka, V., Ruuth, J., Soini, P., Vakkuila, K.* IBM solidDB: In-Memory Database Optimized for Extreme Speed and Availability, *Bull. IEEE Comp. Soc. Tech. Comm. Data Engrg. 36* (2), 14-20, 2013.
- *Kemper, A., Neumann, T., Finis, J., Funke, F., Leis, V., Mühe, H., Mühlbauer, T, Rödiger, W.* Processing in the Hybrid OLTP & OLAP Main-Memory Database System HyPer, *Bull. IEEE Comp. Soc. Tech. Comm. Data Engrg. 36* (2), 41-47, 2013.
- *Kemper, A., Neumann, T., Finis, J., Funke, F., Leis, V., Mühe, H., Mühlbauer, T, Rödiger, W.* Processing in the Hybrid OLTP & OLAP Main-Memory Database System HyPer, *Bull. IEEE Comp. Soc. Tech. Comm. Data Engrg. 36* (2), 41-47, 2013.
- *Zhang, C., Ré, C.* DimmWitted: A Study of Main-Memory Statistical Analytics, *ArXiv*, 2014.
- SAP's Hasso Plattner on Databases and Oracle's Larry Ellison https://www.youtube.com/watch?v=W6S5hrPNr1E

المؤلف

نيل سافاج Neil Savage هو كاتب في العلم والتقانة، ومقِيم في لوويل– ماساشوسيتس (Lowell, MA).

كيف تغيّر الحواسيبُ علم الأحياء؟

HOW COMPUTERS ARE CHANGING BIOLOGY?*

Samuel Greengard
ترجمة: د. يمن الأتاسي
مراجعة: د. غيداء ربداوي

تحلّ المحاكاة والنماذج الحاسوبية المعقدة محلّ أنابيب الاختبار والبيكرات[1]. وتعيد هذه الثورةُ في أبحاث علم الأحياء تعريفَ الطبّ، والزراعة، وغيرهما الكثير.

ليس سراً أنّ النمذجة الحاسوبية تغيّرُ العلوم. فالمقدرةُ على استخلاصِ معلومة ذات دلالة من مجموعة هائلة من المعطيات وبناءِ نماذجَ معقدة تغير كلّ شيء، بدءاً من علم الفلك إلى الفيزياء الكمومية. ومع ذلك، ربما لم يشهد فرع من المعرفة فوائد محسوسة من النمذجة الحاسوبية أكثر من علم الأحياء.

يلاحظ ميكائيل لڤيت Michael Levit أستاذ علم الأحياء البنيوي في جامعة ستانفورد أنّ "هناك كمية مذهلة من المعلومات القيّمة المتضمنة في النظم الحيوية، فالجزيئات الدقيقة والحواسيب القوية قد صُنع كلّ منها للآخر من عدة نواحٍ."

يرى لڤيت– وهو أحد العلماء الثلاثة الحائزين جائزةَ نوبل للكيمياء عام 2013– أنّ عالَم علم الأحياء قد تغيّر بفضل الحواسيب. إذ خلال العقود القليلة المنصرمة كما يقول، انتقل علماء الأحياء من التجارب العملية إلى النماذج الحاسوبية والمحاكاة المتزايدة التعقيد. فقد كشفوا الشفرة الوراثية لجينوم الإنسان human genome وحددوا التأثيرات الجانبية غير المعروفة سابقاً للأدوية الصيدلانية. والآن، يوظّف الباحثون معرفتَهم هذه لتصميمِ أعضاء صُنعية ولتغييرِ كلّ شيء جذرياً ابتداء من الطب ووصولاً إلى علم الغذاء. ويكفي أن نقول إنّ هذه الحدود الجديدة لعِلم الأحياء الحسابي computational biology والمعلوماتية الحيوية bioinformatics تغيّر عالمنا.

ومع استبدال علماء الأحياء السواقات الصلبة بأنابيب الاختبار، تزداد الإمكانات. يقول داڤيد شوDavid Shaw كبير العلماء في مؤسسة D.E. Shaw للأبحاث والباحث الرئيسي في مركز علم الأحياء الحسابي والمعلوماتية الحيوية في جامعة كولومبيا: "بدأ الحساب computation بأخذ دوره جنباً إلى جنب مع التجريب بوصفها شريكاً كاملاً في المؤسسة العلمية، باعتبارها مصدراً مستقلاً للأدلة لا مصدراً للفرضيات فقط، فكلّ منهما قادر على إيضاح الظواهر الحيوية والكيميائية–الحيوية التي لا يقدر الآخر بلوغها، مما يسمح بحدوث تطورات علمية لم يكن ممكناً الوصول إليها باستعمال كل مقاربة على حدة.

**نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 57، العدد 5، أيار (مايو) 2014، الصفحات 21 – 23.*

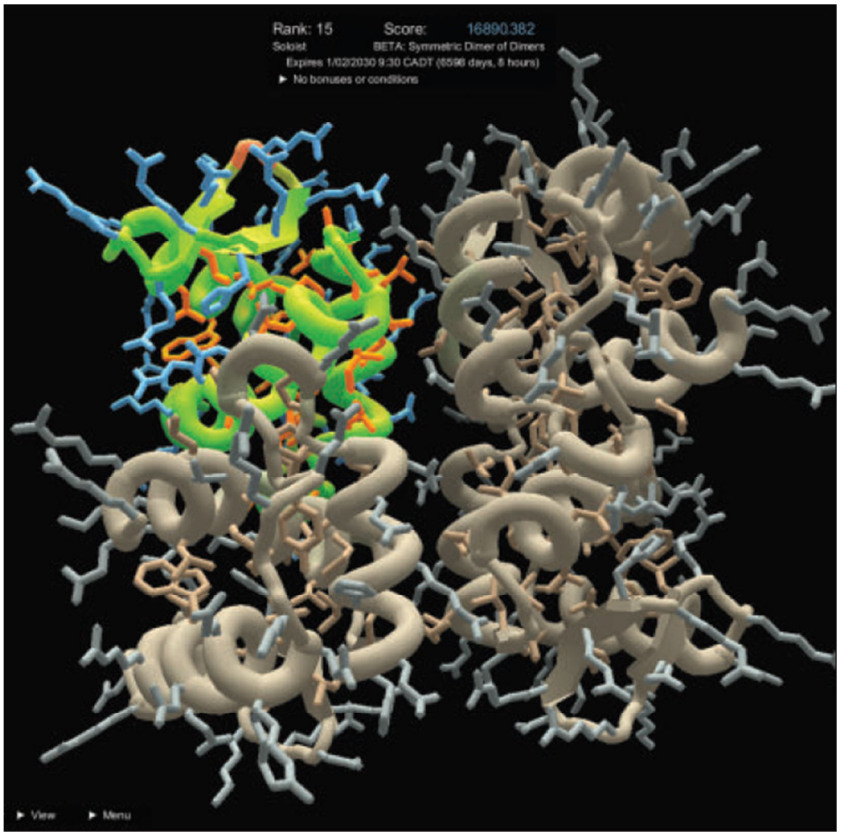
[1] البيكرات beakers هي أوعية زجاجية أسطوانية الشكل ذات شفة، تستعمل في المخابر الكيميائية والحيوية. (المترجم)

النداءات الخَلَوية

تعود أصول المعلوماتية الحيوية إلى بدايات السبعينيات. في ذلك الوقت، كان عالما الأحياء النظرية الهولنديان بوليان هوغ ڤيغ Paulien Hogeweg وبن هسبر Ben Hesper قد أقرّا بوجود أنماط رياضية معقدة في العالَم الحيوي، ومن الممكن تطوير خوارزميات لفهمها بطريقة أوسع شمولاً. على مدى العقود التي تلت، قادت التطورات الجذرية في قدرة معالجة الحاسوب والتخزين والبرمجيات والخوارزميات الرياضية إلى تحسينات هائلة في هذا المجال. اليوم، يُستعمل علم الأحياء الحسابي والمعلوماتية الحيوية على نطاق واسع لمواجهة تحدياتٍ كانت تعتبر غير واردة في الماضي. يصف هوغ ڤيغ الإجرائية بأنها "وسيلة معقولة لنمذجة تعقيدات الكائنات الحيوية."

يقول باڤل بڤزنر Pavel Pevzner أستاذ علم الحاسوب في جامعة كاليفورنيا في سان دييغو إنّ التقانة الحسابية قلبت علم الأحياء رأساً على عقب. "لقد تحوّل علم الأحياء إلى علم رقمي. فمن شبه المستحيل العمل في هذا المجال دون استعمال الأدوات الحسابية والخبرة الحسابية في عدة تخصصات". ويتابع قائلاً إنّ الحواسيب لم تفتح الأبواب فقط بتسريع النمذجة لتصبح ساعات بدلاً من أشهر أو سنوات، بل قادت إلى معطيات أفضل نوعياً– وساعدت الباحثين على لحظ علاقات مخفية ومعقدة ضمن المعطيات.

ليس مستغرباً أنّ الكثير من الاهتمام قد تركّز حتى الآن على المحاولات الواسعة الشهرة الواسعة المتمحورة حول



Dimer ديمير (ثنائي الجزء) تناظريٌّ من أحجية ديميرات هدفُها إيجادُ الطريق المثلى لطيّ البروتين (الملوَّن) بحيث يرتبط ارتباطاً أمثلياً مع نُسَخِه الرمادية الثلاث.

علم الأحياء، مثل مشروع الجينوم البشري Human Genome Project وفولديت Foldit، وهذا الأخير هو لعبة متعددة اللاعبين قادت إلى فتوحات في أبحاث مرض الإيدز AIDS.

وبفضل علم الأحياء الحسابي والمعلوماتية، صار ممكناً رسم خريطة للـ DNA وللتسلسل البروتيني وتحليلهما ديناميكياً، وتصميم العقاقير الصيدلانية والتحقق من صلاحيتها، وبناء نماذج للأعضاء الصُّنعية. كما أصبح العلماء يجمِّعون نطاقات الأبحاث لاستكشاف مناطق جديدة. مثلاً، طوّر اتحاد من العلماء الأوربيين منصة معلوماتية جديدة باسم جينوبوكس GENOBOX يمكنها أن تساعد الصناعة على التنبؤ بكيفية تأثير البكتريا الغذائية food bacteria والبروبيوتيكس probiotics[2] على جينوم محدد لشخص ما.

يقول رون شامير Ron Shamir الأستاذ الجامعي في علم الحاسوب والمعلوماتية الحيوية والعضو في ACM إنّ جانباً كبيراً من ثورة التقانة الحيوية خلال العقد المنصرم يضمّ ما يُسمى تسلسل الجيل القادم next-generation sequencing والذي يسهل إجراء تسلسل DNA بسرعة فائقة وتكلفة رخيصة جداً. ولما كانت هذه التقانات فعالةً جداً، فإنّها تتجاوز تسلسل الجينومات، وتُستعمل أداةً لقياس كيانات حيوية متنوعة.

يلحظ شامير أنه "لمّا كانت تكلفة إيجاد التسلسل قد انخفضت خلال السنوات العشر الماضية، فقد أصبحت الإمكانات التي كانت حينها غير واردة متاحة الآن وقابلة للتحقيق". يشير شامير إلى أنّ إيجاد تسلسل الجينوم البشري الذي كان يكلف في البداية نحو ثلاثة مليارات دولار سيصبح متاحاً قريباً بنحو ألف دولار؛ ومن المحتمل أن تنخفض التكلفة إلى بضع مئات من الدولارات خلال السنوات القليلة القادمة.

من جهة أخرى، تولِّد هذه الأدواتُ تحدياتٍ حسابيةً رائعة، لا سيّما فيما يتعلق بحفظ المعطيات ونقلها وتحليلها.

غير أنّ الزيادة الهائلة في القوة الحسابية التي ترافقت مع القدرة على القيام بالأبحاث بتكلفة منخفضة جداً، تُعيد رسم ملامح علم الأحياء biology جذرياً، مثلاً، تركَّز عمل لڤيت على التحليل النظري بمساعدة الحاسوب لجزيئات البروتينات و DNA و RNA المسؤولة عن الحياة على المستوى الأساسي. ويُعدُّ فهم البنى الجزيئية الدقيقة للجزيئات الحيوية خطوةً أولى أساسيةً في فهم كيفية عملها، وفي تصميم العقاقير التي تعدل وظائفها.

في غضون ذلك، يبني شامير ويحسّن الخوارزميات التي تسمح للعلماء بفهمٍ أفضل للعلاقة بين الصبغيات (الكروموزومات) والسرطان، وبحلّ الشفرة الناظمة لقوانين النظم الحيوية، ويقول نهدف إلى فهم أفضل لكيفية تحكُّم الجينات genes والبروتينات بجينات أخرى. لدينا في كل خلية منظومة ديناميكية ضخمة تستجيب للبيئة المحيطة وتتغيّر على مرّ الوقت. يُعدّ فهمُ الآلية التي تضبط الجينات والبروتينات وكيفية تغيراتها أمراً حاسماً للطب والزراعة وعلم الأحياء الأساسي."

لقطع الشك، يتصدى باحثون من أمثال "شو" للألغاز الحيوية بطرائق جديدة ومبتكرة–وعلى الأخص عند تقاطع الجينوم البشري مع الطب. فقد بنى "شو" مع فريق بحثه حاسوباً فائقاً لأغراض خاصةٍ يمكنه محاكاة التغيرات في البنية الثلاثية الأبعاد للبروتينات والتي تحدث كلّ ملّي ثانية. ساعدت هذه الآلة والمعطيات الناتجة عنها الباحثين على كشف الآليات الجزيئية الكامنة وراء عدد من الإجراءات الحيوية والأدوية. يعتقد الكثير من العاملين في هذا المجال أن مثل هذه النمذجة الحاسوبية والمحاكاة المتطورة يمكنها أن تغير الطريقة التي تطور بها الشركاتُ الصيدلانية العقاقيرَ المستقبليةَ، وهي إجرائية أصبحت في السنوات الأخيرة صعبةً وباهظةَ الثمن ومستهلكةً للوقت على نحو متزايد ، كما يمكنها أيضاً أن تساعد على تخفيض الاعتماد على الحيوانات لإجراء الاختبار.

[2] بكتيريا مفيدة. (المترجم)

تسمح النمذجة الحاسوبية للباحثين بالتنقل بين مجموعة من السيناريوهات المذهلة عند محاكاة كيفية تفاعل الجسم مع أنواع مختلفة من الأدوية ومستويات مختلفة. وبمرور الوقت، ومع ازدياد المعطيات المدخلة إلى النموذج وتحسُّنها وتركيز الحاسوب على العلاقات والارتباطات، يُفترض أن يصبح النموذج أكثرَ دقة. تتمّم هذه المقاربة في النمذجة طرائق البحث التقليدية في علم الأحياء، وتتمتع بإمكان خفض تكلفة العقاقير وتسريع تطويرها وتحسين فعاليتها.

تفتح النمذجة أيضاً إمكاناتٍ جديدةً. مثلاً، يتعاون الآن باحثون من ثماني مؤسسات كبرى ضمن مشروع البانكرياس الاصطناعي، لمحاولة تطوير برمجية معقدة واختبارها بحيث تضبط آلياً مستويات الغلوكوز للمصابين بداء السكري diabetes من النوع 1.

ما وراء الطب

بزغت أيضاً التقانة النانوية nanotechnology واللَّعِب gaming والتعهيد الجماعي crowdsourcing والتجهيزات المتصلة، بصفتها مكونات مهمة في عجلة المعلوماتية الحيوية الضخمة. مثلاً، ابتكر معهد أبحاث سكريبس The Scripps Research Institute لعبة اسمها ديزيز Dizeez تهدف إلى حل الأسئلة المتعلقة بطب المورِّثات genetic medicine. وقد نجم عنها تحديد العديد من الوسوم المحددة لأمراض مورثاتية gene-disease annotations جديدة. ابتكرت بيولابز نيو إنكلاند New England Biolabs لعبة باسم Cut it out "اقطعه" وهي تدور حول عدة لاعبين يولِّدون تسلسلات من DNA ويتعاملون معها.

مع اتجاه الباحثين إلى هذه الأدوات، ازدادت الإمكانات أسياً. باستعمال المُحسّات والمعطيات الواردة من الهواتف الجوالة أصبح علماء الأحياء قادرين على التقاط صورة أكثر كمالاً للبيئة المحيطة والعوامل المختلفة –وربما كان تعبير "صورة متحركة" تشبيهاً أفضل لذلك– بل أكثر من ذلك أصبحوا قادرين على الغوص في المزيد من المعطيات الهائلة ضمن رقعة واسعة من التخصصات والمجالات. يلاحظ لڤيت "أنّ النظم الحيوية توفِّر نظرة متبصّرة مميزة للكثير من الأشياء التي تحصل في العالم من حولنا".

لا حدود تقريباً للإمكانات. فإضافةً إلى العلاجات الطبية والعقاقير المحسّنة تحسناً ملموساً، يمكن للباحثين استعمال المعطيات الحيوية لفهمٍ أفضل لأنماط تلوث الهواء والماء وكيفية تأثيرهما في الصحة، ولكيفية انتشار المواد الخطرة وتأثيراتها المتبادلة مع ما يحيط بها، وكيفية تفاعل متعضيات التربة ومختلف الكيماويات مع الظروف المتنوعة. يمكن لكلّ هذا أن يقود إلى أنواع جديدة من طرائق التحكم بالتلوث، ومراقبة المواد الخطرة وإيجاد ملابس واقية أفضل، كما يمكن أن يوصل إلى طرائق محسنة على نطاق واسع في علم الغذاء والزراعة. يمكن لأبحاث المعلوماتية الحيوية أن تولّد أيضاً أنواعاً جديدة من الوقود أعلى جودة، وأن تحدث ثورة في كل شيء بدءاً من البطاريات وحتى الصناعات التحويلية.

يتطلب تطوير النماذج الحاسوبية والخوارزميات الفضلى فهماً جديداً ومساهمات من مختلف الاختصاصات. يعتقد شو أنه في معظم مجالات علم الأحياء الحاسوبي، تكاد تبزغ أغلب المساهمات المهمة من أبحاث متعددة الاختصاصات "تضم كلاً من علماء الحاسوب وعلماء الأحياء والكيميائيين وغيرهم من خبراء التطبيق. يقود هذا النوع من التعاون إلى مقارباتٍ جديدةٍ ومبتكرةٍ للمسائل التي كان يصعب حلها باستعمال النماذج المستعملة تقليدياً ضمن أيّ من هذه الاختصاصات على حدة."

ووفقاً لشامير، فإنّ مفتاح التنقيب في المعطيات الطبية الحيوية ذات العلاقة، هو تحسين الخوارزميات ليصبح بإمكانها تقدير قيمة التجارب والمعطيات ذات الصلة بالموضوع تقديراً ملائماً. إضافة إلى ذلك من الضروري أن يجري المزيد من التحسين لسعة التخزين والضغط– واستثمار الحوسبة السحابية cloud computing بصورة أشدّ فعالية– بغية تسهيل الوصول إلى المعطيات. يقول شامير "يلزمنا خوارزميات معلوماتية حيوية جديدة وأكثر تعقيداً يمكنها أن تكامل المعطيات غير المتجانسة على نحوٍ أفضل. أصبحنا نلاحظ أكثر فأكثر أنّ التحدي لم يعد في الحصول على المعطيات وإنما في اكتشاف كيفية فكّ رموزها. وأصبح التحليل الآن عنقَ الزجاجة."

يعتقد لڤيت أن المعلوماتية الحيوية ستغيّر العلوم تغييراً جذرياً في السنوات القادمة. ويشرح بأنه "في مستوى معين، توجد بنية لكل المعطيات الموجودة في العالم المادي. والعديد من الطرائق المستعملة اليوم لتحليل المعطيات هي طرائق عمومية؛ ينقب الباحثون عن الارتباطات والاعتمادية والسببية." ولكن، مع تعلّم الباحثين الغوص في مستويات أدقّ تفصيلاً واكتسابهم فهماً أعمق للكثير من الأشياء والسياقات والعلاقات، فإننا نتوقّع المزيد من التطورات المميزة.

على المستوى الجزيئي "يُصنع كلٌّ من الجسر وأداة الطعام من الفولاذ؛ إلا أنّ شكل الشيء وكيفية عمله يحددان مكانه في مخطط الأشياء." يقول لڤيت إنه مع تعلمنا تعرف الأنماط المختلفة في علم الأحياء والتمييز بينها تمييزاً أفضل، سنبدأ برؤية الأشكال والبنى الحيوية الكامنة وراء البنى الأساسية. وقد نكتسب مستوى من المعرفة يمكنه أن يقلب جذرياً جوانب كثيرة في عالمنا."

قراءة للاستزادة

- *Karplus,M., Levitt.,M., Warshek,A.* Development of multiscale Models for Complex Chemical Systems,The Royal Swedish Academy of Science, http://ww.nobelprize.org/ nobel_prizes/chemistry/laureates/2013/advanced-chemistryprize2013.pdf.
- *Orendtein,Y., Linhart, C., Shamir, R.* Assessment of Algorithms for Inferring Poditional Weight Matrix Motifs of Transcription Factor Binding Sites using Protein Binding Microarray Data, PLoS ONE, 7(9) e46145,2012. http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0046145
- *Shaw, D.E., Maragakis,P., Lindoroff-Larsen, K., Piana, S., Dror, R.O., Eastwood, M.P., Bank, J.A., Jumper, J.M., Samon, J.K., Shan, T., Wriggers, W.* Atomic-Level Characterization of the Structural Dynamics of Proteins, Science, Vol. 330, October, 15, 2010.
- *Shaw, D.E., Dror, R.O., Salmon, J.K., Grossman, J.P., Mackenzie, K.M., Bank, J.A., Young, C., Deneroff, M.M., Batson, B., Bowers, K.J., Chow, E., Eastwood, M.P., Ierardi, D.J., Klepeis, J.L., Kuskin, J.S., Larson, R.H., Lindorff-Larsen, K., Maragakis, P., Moraes, M.A., Piana, S., Shan, Y., Towles, B.* Molecular Dynamics Simulations on Anton, SC'09 Proceedings of the Conference on High Performance Computing Networking, Storage and Analysis, Article No. 39

المؤلِّف

صموئيل غرينغارد Samuel Greengard مؤلف وصحفي مقره ويست لين– أورغون.

الحساب يَستغرق زمناً، ولكن كم هو؟

COMPUTATION TAKES TIME, BUT HOW MUCH?*

Reinhard Wilhelm And Daniel Grund
ترجمة: د. محمد عباسي
مراجعة: د. أحمد حصري

تحليل التوقيت في حالة منظومات الزمن الحقيقي

قبل عدة سنوات، وعلى صفحات مجلّة Communications of the ACM، بيَّن السيد " إدوارد لي" أن الحوسبة computing تتطلَّب زمناً.[23] يركِّز هذا المقال على الافتراض الطبيعي أن الحوسبة أيضاً تستغرق زمناً. نستعرض هنا مسألة تحديد هذا الزمن. إنها مسألة التحقُّق من أداء الزمن الحقيقي للأنظمة الحرجة المرتبطة بقضايا السلامة. إذ يُعتبر الأداء الدقيق لمثل هذه الأنظمة، التي من قبيل المكابح المضادة للقَفْل والأكياس الهوائية، ذا أهمية قصوى. فإذا استغرقت حسابات التحكم زمناً طويلاً، تَدنّت جَودة الخدمة، أو فشلت الأنظمة فشلاً ذريعاً، فتصبح مسافة توقُّف المركبة أطول، أو يرتطم الرأس بالمِقْوَد، على التوالي.

إنّ المعلومات الموثوق بها عن أزمنة تنفيذ كافة المهام الحسابية ذات العلاقة، هي أسس التحقق من انضباط ردود فعل النظام. تقع مهمة تحديد مثل هذه المعلومات على تحليل التوقيت، المعروف باسم تحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة: Worst Case Execution Time (WCET).

ولتجنُّب وجوب حل مسألة التوقُّف halting، يجب أن تكون جميع البرامج التي في قيد التحليل منتهية. أي تحتاج الحلقات إلى عدد محدود من التكرار، وتحتاج العَودية (recursion) إلى عمق مُحدَّد– فإما أن تَرِد هذه المعطيات صراحة في البرنامج، أو تُحدَّد ببعض التحليلات، أو يزوِّدها المُبرمِج. إضافة إلى ذلك، فإن حساب زمن تنفيذ أسوأ حالةٍ (WCET) للبرنامج ليس ضرورياً. إذ إن مقاربة تقليدية، من قبيل الحد الأعلى لأزمنة التنفيذ للبرنامج

مفاهيم مفتاحية

- لم يزِد التطور الهائل في بنيان المعالج الصغري من أداء الحالة المتوسطة فحسب، لكنه زاد أيضاً في تعقيد التحقق من الأداء في الزمن الحقيقي للبرامج المنفَّذة على هذه البنى.
- لاستخلاص ضمانات زمن تنفيذ مفيدة، يجب على التحليل السكونيّ أن يبرهن أنّ آليات التخمين لوحدات المعالجة المركزية الحديثة ستكون فعّالة أثناء زمن تشغيل البرنامج.
- يعتبر ذلك تحدِّياً، والسبب: شذوذات التوقيت والتواقُفات (interdependencies) بين العناصر البنيانية، أي توقف قيم هذه العناصر بعضها على بعض.

* *نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 57، العدد 2، شباط (فبراير) 2014، الصفحات 94 – 103.*

تعتبر مقبولة؛ وهي كافية لإثبات حُسن الأداء العام إن كانت منخفضة لدرجة مقبولة. يوضح الشكل 1 أكثر الدلالات أهمية.

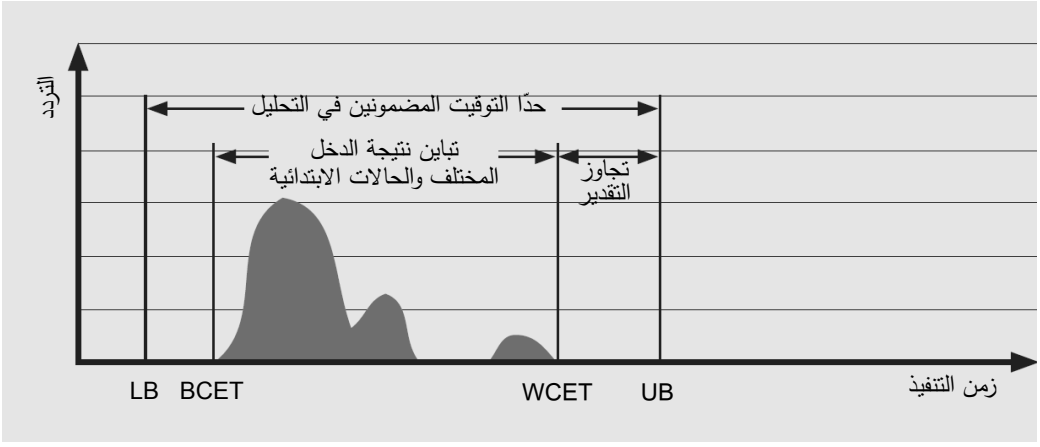
في الأيام السابقة، اقترح السيد شو Shaw [33] هذه المقاربة التقليدية وسمّاها "طريقة مُخْتطَّة التوقيت". كان هدفها تعيين حدود أزمنة التنفيذ لبرامج اللغة العالية المستوى. تمثلت الفكرة في العمل على كامل التعريف المُحرَّض بنيوياً لبرامج اللغة العالية المستوى، مِثل العمل على كامل شجرة التركيب البنيوي للبرامج: فهي تبدأ بتعيين حدود أزمنة تنفيذ عناصر البرنامج الذريّة (الصِّغرية)، ومن ثَم حساب حدود أزمنة التنفيذ لبِنىً مُعقَّدة بجمع أزمنة التنفيذ لمكوناتها.

فمثلا، يُحسَب الحد الأعلى لأزمنة تنفيذ العلاقة الشرطية: `if b then` s_1 `else` s_2 على النحو التالي:

$$ub\ (\text{if } b \text{ then } s_1 \text{ else } s_2) = ub(b) + \max\{ub(s_1),\ ub(s_2)\}.$$

في هذه الأيام ثمة سببان، على الأقل، يجعلان طريقة مُخْتطَّة التوقيت غير عملية، أو غير ذات جدوى، أو غير دقيقة. الأول يكمن في المُصرِّفات. فعمليات تحويل واستمثال البرنامج التي تُنفذها المُصرِّفات، تجعل رِماز المصدر غير مناسب لاستقصاء التوقيت: إذ إنه لا يكشف تعليمات الآلة المُنفَّذة فعلياً. فهو لا يُظهر جريان أوامر التحكم للبرنامج الاثناني المُنفَّذ على الآلة الهدف. كما لا يُبيِّن تحصيص السجل أو الذاكرة للمُتغيرات في البرنامج وللنتائج المتوسطة. جرى بحث هذا الغموض الذي يتناول الرِّماز المُنفَّذ فعلياً، في مقالة السيد شو،[33] الذي أقرَّ بصعوبته. ومنذ ذلك الحين، زادت التطوّرات في استمثال المُصرِّفات من هذا الغموض.[4]

يعود السبب الثاني إلى التطوّر الهائل في بنيان الحاسوب، الهادف إلى رفع أدائه عموماً. فقد كانت أزمنة تنفيذ التعليمات سابقاً ثابتة. ومع دخول المعالجات الصِّغَرية التي تشتمل على قنوات عميقة، وخوابٍ (caches)، ومفاهيم تخمين أخرى متنوعة، أصبحت أزمنة تنفيذ التعليمات متغيرة. بمعنى أن أزمنة التنفيذ لتعليمةٍ تتغيَّر بتغيُّر موقع حدوث التعليمة في البرنامج. بل إن زمن تنفيذ ذات التعليمة، في برنامج واحد، قد يختلف. وهذه التغيرات كبيرة: فقد تتفاوت أزمنة تنفيذ التعليمات بمعدَّل مئة ضعف أو أكثر. قد يُقال إن زمن التنفيذ سريع في معظم الأحيان، لأن بِنى الحواسيب قد استُمثِلت لأداء أفضل في الحالات المتوسِّطة. لكن هذا لا يُعَد أساساً لإعطاء ضمانات. بالمقابل، فإن البَدء بوضع تركيب بنيوي



الشكل 1. توزع تصوري لأزمنة تنفيذ مهمة، يوضّح الحدان الأدنى والأعلى للتوقيت (LB, UB) إضافة إلى أزمنة تنفيذ الحالة الأفضل و الحالة الأسوأ (BCET, WCET).

لمُخْتطَّة التوقيت ذي حدود عريضة، سيُنتج فقط حدوداً شاملة عديمة الفائدة عملياً.

لنتفحَّص عن كثب أسباب تغيُّر توقيت التعليمة: ينتج اختلاف أزمنة تنفيذ تعليمة ما عن الحالات المختلفة التي يكون فيها البنيان عند بَدْء تنفيذها. فعلى سبيل المثال، يعتمد زمن تنفيذ تعليمة الإيساق على حالة الخابية (الخوابي)، وربما أيضاً على مشغولية مسرى ذاكرة المعالج؛ يعتمد زمن التفريع المشروط على حالة التنبؤ بالتفريع، وقد يشمل ذلك، الزمن اللازم للتعافي من تنبؤ خاطئ. ثُمّ إن الحالة البُنيانية بدورها هي نتيجة تاريخ التنفيذ، الذي يُحدِّده الدخل إلى البرنامج والحالة البُنيانية البدائية. تَنتج عن حالات البدء المختلفة وممرات جريان التحكم[1] المختلفة إلى موقع في البرنامج، مجموعةٌ من حالات التنفيذ المُحتمَلة، P، وذلك قبل تنفيذ التعليمة في هذا الموقع. وسنوضِّح، فيما بعد، كيف تَحسُب مرحلةٌ تُسمى *التحليل البنياني الصِّغَري microarchitectural analysis* الثوابتَ التي تُوصِّف مجموعات الحالات هذه.

يمكننا بعد ذلك، من حيث المبدأ، أنْ "نوسِّع" التعليمة باستعمالها في المنصَّة البنيانية الأساسية، وهي آلة حالة منتهية ضخمة. ولأجل هذه التعليمة، فإن ثمة مجموعة جزئية فقط من العمليات الانتقالية ممكنةٌ بهذه الآلة، وهي بالتحديد تلك التي تبدأ في حالات موجودة في P. وهذه العمليات ستقود إلى مجموعة جديدة من الحالات تَنتج عن تنفيذ التعليمة.

يمكن، في هذا البحث، إهمال كافة الممرات التي لا تبدأ في حالات موجودة في P. لكن ما يبقى يظل كبيراً لتقَصّيه بالكامل. وهذا ما يُعرف بمشكلة انفجار فضاء الحالة[2] التي نواجهها خلال المحاولات الكثيرة لتَقصّي فضاءات الحالة كاملة.

إن الإجراء الرئيسي المُستعمل في التحليل البنياني الصغري لمواجهة تهديد هذا الإشكال هو الاختصار abstraction. فهو يسمح بتمثيل مُختَصَر لمجموعات حالات التنفيذ: إذ يمكن إهمال المعلومات غير ذات العلاقة بالتوقيت تماماً. كما يمكن، على نحو مُحافظ، تقريب المعلومات المرتبطة بالتوقيت، بحيث يمكن تمثيلها بكفاءة. ثمة قيود، كما سنوضح، من قبيل مقدار الاختصار الذي يمكن إهماله ومع ذلك تبقى العملية ذات فائدة.

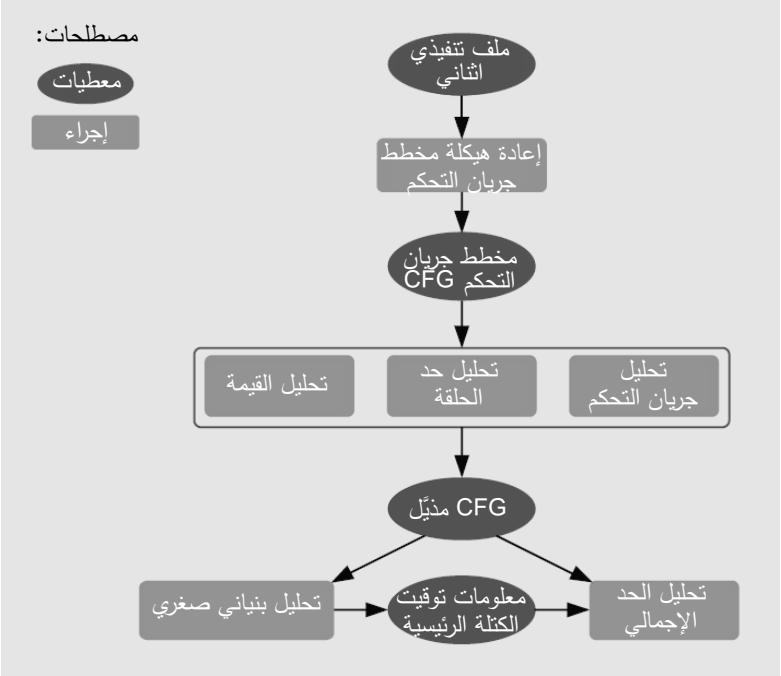
في ختام هذه المقدمة، يجب أن يكون واضحاً أن تحليل التوقيت ليس محاولة لحل مشكلة التوقُّف halting. فكل البرامج التي في قيد الاختبار مؤكَّدة الانتهاء. أما المشكلة التي علينا التصدّي لها فهي تعقيدات المهام الثانوية المتعددة، وعلى وجه الخصوص فضاء الحالة الضخم المطلوب تقَصّيه.

تجزيء المسألة

إن تحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة WCET هو، في المقام الأول، البحث عن أطول الممرات ضمن البرنامج. يمكن صياغة ذلك على أنه مسألة تشييد مخطط بياني (مِبيان) مُثقَّل، وإيجاد أطول مسار فيه: تُمثِّل عُقَد المخطط جُذاذات البرنامج program fragments، من قبيل الكتل الأساسية، أي سلاسل طويلة من ترميز الخط المستقيم. تُمثِّل حافات المخطط جريانَ التحكم المُحتمل. تعتبر أثقال العقدة حدوداً عليا لأزمنة تنفيذ جذاذات البرنامج، في حين تُعتبَر أثقال الحافَة حدوداً لعدد مرات تجاوزها.

[1] control-flow paths: تسلسل تنفيذ التعليمات في البرنامج. المترجم

[2] أحد أخطر المشاكل التي نصادفها عند التحقق من نموذج أثناء عمله، ما يعرف باسم "مشكلة انفجار الحالة" state explosion. فقد يكون فضاء الحالة في نظام ما واسعاً جداً، أو لانهائياً. ومن الممكن عند تقصي كامل فضاء الحالة بموارد محدودة من الزمن والذاكرة أن تُستنفد كامل الذاكرة بكم هائل من الحالات التي اختبرت، وطابور من الحالات التي تنتظر دورها للاختبار، فيقف النظام عندها عاجزاً عن المتابعة. المترجم



الشكل 2. المراحل الرئيسية لتحليل التوقيت السكونيّ.

استناداً إلى هذه الاستراتيجية، برز خلال السنين، بنيان شبه نموذجي لتحليلِ توقيتٍ سُكونيّ static timing analysis، كما هو مُبيَّن في الشكل 2. وسنشرح هنا، بإيجاز، الهدف والتحديات الرئيسية لكل مهمة جزئية، مستعملين مصطلحات المخطط البياني.

1. إن *إعادة تنظيم جريان التحكم*[38] تُحدِّد مخططَ جريان التحكم ذاته. فهي تَقرأ ما يَقبل التنفيذ اثنانيّاً ليجري تحليله، وتُعيد تشكيل جريان التحكم الخاص به، ثم تُحوِّله إلى تمثيل وسيط للبرنامج. وهذا ليس بالأمر البسيط، بسبب ملحقات جريان التحكم المحسوبة ديناميكيّاً، من قبيل ترميز الآلة المولِّد لعبارات الابتدال؛ أو مؤشرات الإجراء ذات القيم الصعبة التحديد. كما أن لبعض بنيانات أطقم التعليمات ISAs (Instruction-Set Architectures) مفاجآت إضافية غريبة، من قبيل عدم وجود تعليمة مناسبة للعودة من مَساقات فرعية.

2. يمكن النظر إلى *تحليل القيمة* على أنه تحليل مُساند. فهو يسعى، على نحوٍ سكوني، لتحديد القيم المخزَّنة في السجلات ومواقع الذاكرة. وهي معلومات ضرورية لتحليل حدّ الحلقة، ولتحديد زمن تنفيذ التعليمات الحسابية التي يعتمد توقيتها على قيم معاملاتها، وللتقريب الآمن للعناوين الفعّالة لتحليل خوابي المعطيات، ولتقرير بعض مواضيع التوقيت الأخرى. إن المشكلة العامة لتحليل القيمة هي عدم إمكان تحديدها، إذ غالباً ما توجد عدة قيم محتملة في نقطة من البرنامج عند مرور التحكم عدة مرات بهذه النقطة. إن تحليل الفترة هو إحدى عمليات التقريب الكثيرة، والتي تحسب الفترات المرافقة لمجموعة القيم المحتملة في السجلات ومواقع الذاكرة.

3. يُحدِّد *تحليل حدّ الحلقة*[15,14] أثقال الحافة في المخطط. فهو يتعرَّف الحلقاتِ في البرنامج ويحاول تعيين حدود عدد مرات تكرار الحلقة. وبطريقة مشابهة يجب وضع حدود للعَوديّة. بعض التحدّيات المُصادَفة هي تحليل حسابات

عدّادات الحلقة وشروط الخروج من الحلقة، إضافة إلى الارتباطات بين عدّادات الحلقة في الحلقات المتداخلة. ولأنّ المشكلة العامة غير مُحدَّدة، فقد يجب على المستثمر تزويد هذه الحدود.

4. إنَّ *تحليل جريان التحكم*،[16,14]، المعروف أيضاً بتحليل المسار المُتعذِّر التطبيق، هو تحليل اختياري. فهو يُحدِّد مجموعة المسارات المُحتَملة في البرنامج بدقة أكبر بهدف تضييق حدود التوقيت. وتُعتبر نتائجُه أثقالَ حافة إضافية، كما أنها قيود مسار عامة إضافية. مع ملاحظة أن تحليل حدّ الحلقة يمكن اعتباره حالة ضرورية خاصة من تحليل جريان التحكم.

5. يُحدِّد *التحليل البنياني الصِّغري* أثقال العقدة في المخطط. سيجري لاحقا شرح هذه المهمة الثانوية، حيث أنها أكثر المهام الثانوية تعقيداً، كما أنها تُعطي أكثر الرؤى إثارة للاهتمام.

6. أخيراً، يُحدِّد *تحليل الحدّ الإجمالي*،[39,24,1] المعروف أيضاً بتحليل المسار، أطول المسارات في المخطط. ولإجراء هذا التحليل، تَعتمد إحدى المُقاربات[39,24] ببساطة البرمجة الخطية الصحيحة[3] التي تشتمل على ما يلي: (أ) تُنمذِج المتغيرات الصحيحة العدَّ المتناوب للعُقد والحافات. (ب) تُنمذِج مجموعة المُحددات جريانَ التحكم للبرنامج باستعمال قانون كيرشوف. بمعنى أن مجموع ما ينساب داخلاً عقدةً، يجب أن يساوي مجموع ما يتسرَّب خارجاً منها. يُثبَّت الجريان الداخل إلى عقدة بدء البرنامج على القيمة 1. (ج) تُنمذِج مجموعة أخرى من المحددات حدودَ الحلقة وقيود المسارات الأخرى كما حددها تحليل جريان التحكم. (د) إنَّ التابع الغرضي هو الجداء السُلَّمي لعدد مرات التقاطع وأوزان العُقد، أي جداء عدد مرات التنفيذ بأزمنة التنفيذ. ولحساب الحدود العليا، تؤخذ القيمة العظمى للتابع الغرضي.

جوهر المشكلة

في بِنى الحاسوب الحديثة، يَكثر التخمين speculation، وهو الحالة الطبيعية للعمل، والعجيب أنه يَعمل جيداً: تُخمِّن الخوابي إعادةَ استعمال المعطيات، كما يُخمِّن التنبؤ بالتفريع branch prediction نتائجَ المقارَنات، وتُخمِّن المُوارَدة pipelining غياب تبعيات المعطيات data dependencies؛ وغير ذلك من التخمينات. ثمة تخمينات على التخمين أيضاً. إذ يطمح التنفيذ التخميني speculative execution والجَلْب السَبْقي للتعليمة instruction prefetching إلى تنبؤ صحيح بالتفريع. وعلى التحليل البنياني الصِّغري تعيين الحدود العليا المفروضة على أزمنة تنفيذ جذاذات البرنامج program fragments، كما عليه أن يدفع الثمن.

التحليل البنياني الصِّغري. يشعر مهندسو الحاسوب بالارتياح عندما تنجح التخمينات في معظم الأحيان– لأن ما يهمُّهم هو أداء الحالات العامة. ولاستخلاص حدود توقيت مُحكَمة، على تحليل البنيان الصغري أن يُبرهن أن آليات التخمين تنجح– عندما تعمل.

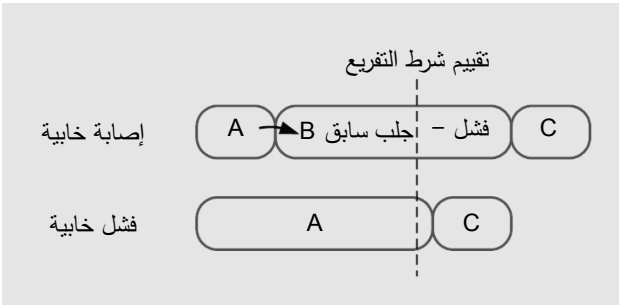
يمكن تحقيق ذلك بعدة طُرُق. نلجأ إلى التفسير المجرَّد، لحساب الثوابت في كل نقطة من نقاط البرنامج، التي توصِّف مجموعة كافة الحالات التي يكون فيها البنيان لحظة وصول التحكم إلى تلك النقطة من البرنامج. تُمثل هذه الثوابت معلومات آمنة عن محتويات الخوابي؛[11,10] وحالة قناة التوارد pipeline متضمِّنة محتويات جميع أرتالها وأصوِنتها queues and buffers إضافة إلى انشغاليه occupancy وحداتها؛[40,12] وحالة المساري الخارجية off-chip buses، والذواكر،

[3] Integer linear programming: برمجة لا تتضمن إلا أعداداً صحيحة، ويمكنها إجراء العمليات الحسابية الصحيحة فقط، مثل الجمع، والطرح، والضرب. المترجم

والطرفيّات. تُستعمل الثوابت المحسوبة لاستبعاد الحالات العابرة في البنيان. يمكن مثلاً، استبعاد حالة فشل (إخفاق) خابية cache miss، إذا كان الثابت المتعلق بحالة الخابية يسمح لها بالتنبؤ بإصابة خابية cache hit.

إذا بدا ذلك سهلاً، فدعنا نشير إلى بعض الشِّراك pitfalls التي تستبعد الاستمثالات "الواضحة" وتَحدّ من قابلية التقييس scalability.

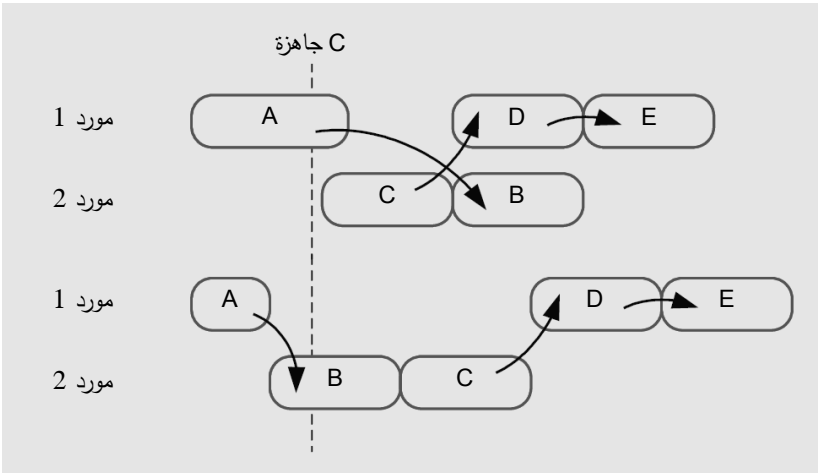
شَرَك شذوذات التوقيت. إن تتبُّع انتقال أسوأ حالةٍ يبدو مُغرياً، على سبيل المثال، فشل النقل من الخابية، عندما تسمح المعلومات السكونية المُتاحة بأكثر من عملية تحويل، من قبيل فشل (إخفاق) خابية، وإصابة خابية. لكن ثمة شذوذات توقيت تجعل صعباً إقرار أي العمليتين هي أسوأ حالة.



الشكل 3. شذوذ التوقيت التخميني.

من الواضح أن شذوذ التوقيت timing anomaly هو وضعية لا تَسْتَلزم فيها أسوأ حالة موضعيةٍ أسوأ حالةٍ شاملة. لاحظ الشكل 3 حيث يَنتج عن فشل الخابية في النقل إلى كتلة الذاكرة A– ما يُمثِّل أسوأ حالة موضعية – زمنُ تنفيذ شامل أقصر منه فيما لو حدث نجاح في النقل. إذ إن هذا الفشل يُجنِّب التنبؤ بتفريع يؤدي خطأً إلى الجلب السبقي للكتلة B. كما يبين الشكل 4 مثالاً آخر. حيث يؤدي تقصير زمن التعليمة A إلى زمن إجمالي أطول، لأن التعليمة B ستصدّ التعليمة C الأكثر أهمية، والتي تُنفَّذ في المَورد 2.

بعبارة أخرى، ليس بالضرورة أن يكون الإسراف في أخذ أزمنة التنفيذ بحدها الأعلى أمثلياً. وللحصول على تفاصيل أكثر، يمكن الاطلاع على عمل السيدين لوندكفيست و ستينستروم[25] اللذين قدَّما فكرة شذوذات التوقيت، أو على عمل السيدين رينيه و سين[30] اللذين قدَّما تعريفاً منهجياً في سياق استقصاء زمن تنفيذ أسوأ حالة.



الشكل 4. جدولة شذوذ التوقيت. تدل الأسهم على التبعيات.

شَرَك التواقُفات.[4] يبدو تجزئة التحليل البنياني إلى تحليلات إفرادية لمكوناته أمراً مُغرياً. بيد أن العناصر البنيانية تتفاعل فيما بينها بطرقٍ غير عادية.

لندرس، على سبيل المثال، حالة اجتماع خوابٍ مع تنبؤ بالتفريع. فإذا أُخطئ التنبؤ بالتفريع، فإن التعليمات تُجلب من عقدة التفريع الخطأ قبل اكتشاف التنبؤ الخاطئ وإعادة توجيه عملية الجلب إلى عقدة التفريع الصحيحة. قد تُفْرِغ عمليات جلْب التعليمات الإضافية تلك كتلا من الخابية، قد تكون مفيدة لتنفيذ البرنامج لاحقاً. على النقيض، يمكن لفشل خابية معطيات أن يؤخِّر حساب شرط التفريع، الذي بدوره يمكن أن يقدح عمليةَ تنبؤ بالتفريع، وفي النهاية جلباً تخمينياً speculative fetching وتنفيذاً للرِّماز. ولو كان النفاذ الأولي إلى خابية المعطيات إصابة، لما حدث أي من هذه الأمور. إن هذا التواقُف (الدائريّ) موجود أيضاً بين عناصر بنيانية أخرى.

على وجه الخصوص، فإن المحاولة التالية لتحليل تأثير الخابية في زمن التنفيذ، محاولةٌ غير سليمة.

1- تعيين حدّ، t_h، لزمن تنفيذ برنامج، على افتراض أن كافة عمليات النفاذ إلى الخابية إصابة.

2- تعيين حدٍّ أعلى n، للعدد الإجمالي لإخفاقات الخابية في أي عملية تنفيذ للبرنامج.

3- إضافة حدّ جزاء فشل الخابية t_p مكرراً n مرة، إلى الحدّ t_h بهدف الحصول على الحد الأعلى لزمن التنفيذ متضمناً إخفاقات الخابية.

في الحقيقة، قد يستغرق زمن تنفيذ البرنامج وقتاً أطول، بمعنى: $t > t_h + n \cdot t_p$. إذ قد تستلزمُ إصابة خابية تغيراً في حالة عنصر آخر يؤدي إلى حدّ جزاء أكبر من جزّاء ذلك العنصر.

يدلّ هذا على أنّ تحليل أي عنصر بنياني على نحو مستقل عن العناصر الأخرى هو إما غير سليم أو غير دقيق: غير سليم إذا أُهملت العناصر الأخرى وتأثيرها؛ وغير دقيق إذا اعتمد التحليل دوماً على الأداء الأسوأ للعناصر الأخرى.

العواقب الخطرة. وبسبب شذوذات التوقيت، يجب على التحليل البنياني الصِّغري أن يأخذ بالحسبان كافة التحويلات التي لا يمكن استبعادها سكونيّاً. وبسبب التواقُفات، فإن الحل المتَّبع حالياً يقضي بتحليل كافة العناصر البنيانية في آن واحد. وإذا أخذنا بالحسبان أيضاً أن هذا التحليل يُجرى على مستوى حُبيْبة دورات المعالج، يتَّضح أن هذه المهمة الفرعية من تحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة (WCET) هي الأكثر تعقيداً.

يوضِّح النقاش السابق أيضاً أن زمنَ تنفيذ أسوأ حالة – كمِثل الخصائص غير الوظيفية الأخرى التي من قبيل الاستعمال الأعظم للكدسة– صعبُ التحقُّق تجريبياً، أي بالقياسات وبالاختبار. إن تعريف معايير آمنة لنهاية الاختبار لخصائص البرنامج هذه، مسألةٌ لم تُحلَّ بعد. ومن ثَمَّ فإن جهد الاختبار المطلوب كبير، إذ تتطلب الاختبارات نفاذاً إلى العتاديات المادية، كما أن النتائج تكون غير كاملة. تكمن ميزة التحليل السكونيّ في أنه يسمح بتغطية كاملة للمعطيات وللتحكم. ويمكن أتمتتُه بسهولة، كما يمكن لمطوِّري البرمجيات تشغيل أدوات من محطات العمل الحاسوبية العائدة لهم.

الاختصارات البنيانية. كما ذُكر سابقاً، يُعتبر الاختصار abstraction العامل القوي في التحليل البنياني الصِّغري. فهو يُستعمل بفعّالية لتمثيل الحالة البنيانية في نقاط البرنامج، وللسماح باستكشاف فعّال لفضاء الحالة.

ثمة خاصة مشتركة لكافة الاختصارات البنيانية، وهي أنها تُستخلَص جميعها من المعطيات. يهتم تحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة (WCET)، بالدرجة الأولى، بالزمن الذي يستغرقه الحساب؛ أما القيم المحسوبة فعلياً فليست في دائرة الاهتمام

[4] Interdependencies التواقف: أن يتوقف أمر ما على حدوث أمر آخر، أو الاعتماد المتبادل. المترجم

المباشر. وهي تُصبح هامة فقط إذا كان لها تأثير في زمن تنفيذ التعليمة. فعلى سبيل المثال، ثمة فارق بين أن يُقابَل عنوان نفاذ ذاكرة في ذاكرة سكونية SRAM سريعة، أو في ذاكرة ومضية خارجية بطيئة. أو إذا كان معامل جداء بالفاصلة العائمة ذو تلَبُّث متغير[5] صِفراً أم لا.

يَحتفظ تحليل القيمة السابق بمعلومات عن القيم، ويمكن استعلامُها عند الضرورة. يُمكن، بهذه الطريقة، إخراج تحليل القيمة (وكذلك تحليل جريان التحكم وتحليل حدود الحلقة) بوصفها عاملا مشتركاً، ولأنها تَعتمد جميعها على مجموعة تعليمات مِنصَّة الحوسبة المعنية. إن الطريقة التي يَستعمل فيها البنيانُ الصِّغري، الذي يُحدد التوقيت، مجموعةً محددة من التعليمات، لا علاقة لها بتلك التحليلات. ومن ثمَّ، يمكن إجراؤها على مستوى التعليمة، قبل التحليل البنياني الصِّغري الذي يُجرى على مستوى الدورة. وهذا يُحسِّن من فعالية التحليل بقَدْرٍ كبير.

لاحظ أن الحقيقة الكاملة قد تشمل مُفارَقات من قبيل قنوات التوارد الواضحة، أو أحياز تأخير زمنية. يمكن للقارئ الجريء أن يُفكِّر بتشعُّبات "الرِّماز الحي"، أي الرِّماز غير القابل للوصول والذي يجري تنفيذه على نحو تخميني؛ أو، بطريقة مشابهة، حدود الحلقة التي يجري تجاوزها بتنفيذ تحزُّري.

تُعتبر الاختصارات المخصصة للعناصر component-specific abstractions الخطوةَ التالية نحو التمثيل الفعّال. لندرس الخوابي على سبيل المثال. تُحدِّد معلومات الخوابي، المتعلقة بالتوقيت، إذا كانت كتلة الذاكرة التي يولَج إليها في نقطة البرنامج، محتواة في الخابية عندما يصل التنفيذ إلى تلك النقطة من البرنامج، أم لا. تُدعى هذه المعلومات الهامة: معلومات ***يجب*** وجودها بالخابية must-cache، ومعلومات ***يُمكن*** وجودها بالخابية may-cache[10]. فمعلومات "يجب" must-cache، هي مجموعة من كتل الذاكرة، من *المؤكَّد* وجودها في الخابية في أي وقت يَصلُ فيه التنفيذ إلى تلك النقطة من البرنامج. أما معلومات "يُمكن" may-cache، فهي مجموعة من كتل الذاكرة، *يُمكن* وجودها في الخابية في أي وقت يَصلُ فيه التنفيذ إلى تلك النقطة من البرنامج. تسمح المعلومات الأولى بالتنبؤ بإصابات hits؛ على حين تسمح الثانية بالتنبؤ بإخفاقات misses؛ ويجب احتساب كلٍ من احتمالَي الإصابة والإخفاق في مجموعة كتل الذاكرة يجب/يُمكن.

تُقرِّب اختصارات الخابية cache abstractions هذه المعلومات على نحو تحفُّظي. وللحفاظ على معلومات مفيدة عن تحديثات الخابية، تحتوي الخوابي المُختصَرة abstract caches على أكثرَ من مُجرَّد معلومات يجب/يُمكن. وبالمقارنة باختصارات الفاصلة والتطابق interval and congruence abstractions بترميز بسيط، أي بين $[l, u]$ و $n \bmod m$،[6] على التوالي، فإن ترميز وتمثيل الخوابي المُختصَرة أكثر تعقيداً. ومع ذلك فإن الخوابي المُختصَرة أنيقة وأشد فعالية من عمليات الترميز الواضحة لمجموعات من حالات خابية واقعية. وللاطلاع على عرض حديث لتحليل الخابية، وعلى أمثلة لاختصارات الخابية، اِرجعْ إلى عمل السيد غروند[11] أو إلى أعمال سابقة.[10]

تُعطي قنوات التوارد pipelines مثالاً معاكساً لنجاح الاختصار abstractions. فهي ذات خصائص لا متجانسة، إذ إنها تتألف من عدد كبير من العناصر الصغيرة، من قبيل، أصْوِنة الجَلْب، ومُسندي المهام (dispatchers)، ووحدات التنفيذ، وأرتال تعليمات الإيساق والتخزين التي في قيد الانتظار، وغيرها. فيما عدا بعض الاختصارات الثانوية، على سبيل المثال، اختصار الوحدات المتساوقة، لم يوجد إلى الآن اختصار وافٍ لمجموعات من حالات قنوات التوارد. فبدلا من

[5] latency: تلَبُّث، الزمن اللازم لعبور إشارة من نقطة إلى أخرى. المترجم

[6] modulo، في الحساب تمثل العملية n modulo m باقي قسمة العدد n على العدد m. (المترجم)

مجالات الاختصار المدمجة، فإن المجال domain الرئيسي المستعمل لتحليل قنوات التوارد هو مجال مجموعة القوى[7]: حيث يجري تقريب الحالة البنيانية لقنوات التوارد بمجموعات من قنوات التوارد الفعلية. وللاطلاع على مثال سابق لتحليل مشابه لقناة توارد، انظر عمل السيد فيرديناند وزملائه؛[8] وانظر عمل السيد ثيزنغ،[40] للاطلاع على مثال أشد تعقيداً.

كما أوضحنا سابقاً، تُجرى كافة هذه التحليلات على نحو متزامن. وكما هو الحال في العتاديات الفعلية التي تتكوَّن من عناصر، يتكوَّن التحليل البنياني من مجالات اختصار لكافة العناصر، تُجمع باستعمال مُركِّب مجالات مناسب. إنّ التحليل البنياني عموماً، هو تفسير لاختصار ذي مجال اختصار ضخم. يمكن لعدد الحالات المدروسة خلال تحليل كتلة أساسية ذات حجم متوسط للحاسوب PowerPC 7448 أن يتعاظم ليبلغ رقماً مؤلفاً من سبع مراتب.

الحساسية للسياق. تعتمد معظم تحليلات البرنامج السكونيّة على الافتراض الضمني لاختصار جريان التحكم control-flow abstraction: أي اعتبار أن المجموعة الفعلية لمسارات البرنامج الممكنة (إلى نقطة من البرنامج) صعبة التحديد. تُجرى عملية الاختصار abstraction البسيطة بتقريب مجموعة المسارات الممكنة (إلى نقطة من البرنامج) بمجموعة كافة المسارات باستعمال مخطط جريان التحكم CFG (إلى تلك النقطة من البرنامج). ينشأ فقدان هذا الاختصار من اعتبار الممرات المتعذرة التنفيذ بمخطط جريان التحكم.

فيما يتعلق بحدّ زمن تنفيذ أسوأ حالة (WCET)، لا تنطوي الطرق المُختصَرة المتعذِّرة التنفيذ على مشاكل، على حين تفعل ذلك الانعطافات المتعذِّرة التنفيذ. ومن ثَمَّ، كما أوضحنا، يُحدِّد تحليل جريان التحكم المسارات المتعذِّرة التنفيذ، وبذا يُخفِّض من مجموعة الممرات المدروسة بهدف تقييد حدود التوقيت.

تتطلب مشكلة زمن تنفيذ أسوأ حالة عموماً، تحليلات تتحسَّس للسياق بقَدْرٍ كبير. إذ عليها أن تُفرِّق بين الاحتمالات المختلفة لكيفية وصول التحكم إلى نقطة من البرنامج. ولتوضيح ذلك دعنا ننظر في عملية تنفيذ الحلقات: تُبدي عملية التكرار الأولى أداءً بنيانياً مختلفاً عنه في عمليات التكرار اللاحقة، حيث توسَق تعليمات الحلقة في الخابية. فإذا لم يُفرَّق بين عمليات التكرار مثلاً، وجب أَخْذُ إخفاقات الخابية بعين الاعتبار على نحو تحفُّظي في كل عمليات تكرار الحلقة. وهذا يؤدي إلى تقدير مبالغ فيه لزمن التنفيذ.

يمكن حدوث اختلافات مماثلة بين مواقع طَلَب إجراءات مختلفة. فبعد الطَلَب الأول، يبقى جزء من رماز الإجراء في الخابية. وقد تعتمد حدود الحلقة ضمن هذا الإجراء على مُعامل الإجراء. وقد تؤدي القيم المختلفة للمعاملات إلى مسارات ذات أطوال متفاوتة في الإجراء.

تسمح السياقات في المقام الأول بإدخال لامتغيرات invariants مؤثرة لكل ثنائية (نقطة برنامج، محتوى) مقارنةً بلامتغير وحيد لنقطة برنامج.

وللاطلاع على موضوع الحساسية للسياق بتوسّع، وعلى أنواع خاصة منه استعملت في تحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة، انظر عمل السيد مارتن وآخرين.[26]

خاتمة. تُقدِّم المعالجات المركزية الحديثة فيضاً من آليات التخمين التي ترفع من أداء الحالة المتوسطة عموماً. وللحصول على حدود مُحكمة لأزمنة تنفيذ برنامج، يجب على تحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة أنْ يُثبت أنّ آليات التخمين تعمل جيداً. وهذا، كما رأينا، صعب جدًّا لعدة أسباب:

[7] powerset domain: في نظرية المجالات (الحقول) يُعرَّف مجال القوة بأنه المجال الذي يتضمن حسابات متزامنة وغير حتمية. والفكرة هي إيجاد مجموعة جميع الحسابات الممكنة. المترجم

تحول التواقُفات بين العناصر البنيانية دون تحليلَ العناصر على نحو إفراديّ، كما تمنع إجراء مقاربة بسيطة لوضع جَزاءات زمن التنفيذ،" كأن يضاف حد جزاء فشل الخابية مكرراً *n* مرة." تحتاج التحليلات إلى مكاملة، وهذا مما يستتبع تعقيدا أشدّ، وزيادة في متطلبات المَورِد. وفي ذات الوقت، تَمنع شذوذاتُ التوقيت تشذيبَ فضاء بحث التحليل، الذي يتطلَّب معلومات دقيقة عن الحالة البنيانية. وللحصول على تلك المعلومات الدقيقة، نحتاج إلى تحليل يتحسّس السياق، للتمييز بين أعداد كبيرة من تواريخ التنفيذ المختلفة. وذلك لأن حالة العناصر التي من قبيل الخوابي والمُتنبِّئين بالتفريع branch predictors قد تعتمد على أحداث في الماضي البعيد، كما أن بعضها قد لا ينسى تاريخه أبداً.[29]

في المستوى الأكثر اختصاراً، بُنيت المعالِجات المركزية لتُظهر معلومات عن زمن التنفيذ أثناء تنفيذ مسار برنامج مفرد. يجب أن يُثبت تحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة، على نحوٍ سكونيّ، استثماراً ناجحاً، على حين تُملي الكفاءة اعتبارا ضمنياً لكافة مسارات البرنامج. وللإنصاف نقول إنه بخصوص أنظمة الزمن الحقيقي الصلبة، فإن التعقيد الكبير في بعض آليات التخمين هو بمثابة هدر للسليكون.

التطوُّر النظري

تَصفُ المقالة الافتتاحية للسيدين بوشنر و بورنز،[28] باختصار، الأعمال المُبكِّرة التي جرت على تحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة في ثمانينيّات وتسعينيّات القرن الماضي. وتلخِّص مساهمات مجموعات البحث الفعّالة آنذاك. وتعتمد أحدث عملية مسح وهي التي أجراها السيد ويليام وزملاؤه[43] وجهة نظر تُركِّز أكثر على المشكلة. فهي تناقش المقاربات المختلفة في المهام الثانوية لتحليل التوقيت، والمجموعات المُساهمة، إضافة إلى حدود وقوة الأدوات المُتاحة في ذلك الحين.

يمكننا، من حيث المبدأ، التمييز بين طُرق تعتمد على القياسات، أو على المحاكاة، أو على التحليل السكونيّ. تُعدّ تخمينات زمن تنفيذ أسوأ حالة وهي التي تُحددها القياسات أو المحاكاة غير آمنة، إذ إن تضمين دمج دخل البرنامج والحالة البنيانية الابتدائية في أسوأ حالة، يَنْدُر ضمانه. ومع أن الطُّرُق السكونيّة توفر ضمانات فإنها قد تعاني من مشكلة المُغالاة في التقدير. وتتطلَّب قياساتُ الأداء عتاديات وتجهيزات تعقُّب؛ في حين يتطلَّب التحليل السكونيّ والمحاكاةُ نماذجَ من البنيان.

استَثْمَرت بعض مجموعات البحث نماذج أولية تعليمية، وتحوَّل بعضها إلى أدوات متوفرة تجاريا. نستعرض هنا أكثر الأدوات المعروفة على نطاق واسع وهي:

(أ) aiT، أداة تجارية طورتها الشركة AbsInt GmbH الألمانية، وتعتمد مبدأ التحليل السكونيّ؛

(ب) BoundT، أداة تجارية طورتها الشركة .Tidorum Ltd الفنلَّنديّة، وتعتمد مبدأ التحليل السكونيّ؛

(ج) Chronos، برمجيات مصدر مفتوح طورتها الجامعة الوطنية في سنغافورة، وتستعمل المُحاكي Simple Scalar للتحليل البنياني الصِّغري؛

(د) OTTAWA، برمجيات مصدر مفتوح طورتها جامعة تولوز في فرنسا، وتعتمد مبدأ التحليل السكونيّ؛

(هـ) RapiTime، أداة تجارية طورتها الشركة.Rapita Systems Ltd البريطانية، وتعتمد مبدأ القياسات؛

(و) SWEET، نموذج أولي تعليمي من جامعة Mälardalen في السويد، يُركِّز على التحليل السكونيّ لجريان التحكم.

للاطلاع على قائمة مُكتمِلة، وعلى مناقشات أكثر عُمقاً عن الأداء الوظيفي لهذه الأدوات وعن محدوديتها، يُنصح بالرجوع إلى عمل السيد ويليام وزملائه.[43]

إن أهم التطورات المتعلقة بمقاربات التحليل السكونيّ الجيّد، مع إرجاء نقاش التحديات القائمة والقادمة إلى مرحلة لاحقة، هي:

(أ) مُخْتطَّة التوقيت التي قدمها السيد شو[33] وامتدادها؛

(ب) الانتقال إلى تقنية حساب المسار الضمني (IPET) الأكثر ملاءمة، التي اقترحها مبدئياً السيدان لي ومالك،[24] والتي لا تزال تُستعمل حتى يومنا هذا لتحليل الحد الشامل؛

(ج) تجزئة مهمة تحليل التوقيت إلى مهام جزئية قابلة للتحكم؛[8]

(د) مقاربات التحليل البنياني الصِّغري، وصولاً إلى نماذج كاملة للمُعالِجات المُعقَّدة؛[40]

(هـ) اختصارات الفضاءات الضخمة لبِنى الخوابي؛[13,10]

(و) استرخاءات relaxations افتراضات التنفيذ غير المُقاطعة،[2] والتي سنناقشها بتفصيل أكثر.

نفَّذ فريق بحث زمن تنفيذ أسوأ حالة في جامعة Mälardalen في السويد عدداً من البرامج المرجعية[8] تُستعمل لتقييم ومقارنة الأنواع المختلفة من أدوات وطرق تحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة.[13] ومنذ عام 2006، يُجري مجتمع "زمن تنفيذ أسوأ حالة" مقارنةً دوريّة بين أدوات التحليل.[9] تُقدِّم النتائج المنشورة[37] لمحة عامة عن حالة الأدوات المختلفة.

ماذا اعتمدت الصناعة؟

سيطرت التقنيات المعتمِدة على القياس وطُرق العدّ البسيطة على تحليل التوقيت، بالمفهوم الصناعي، لغاية تسعينيّات القرن الماضي. ووصل مسار البحث في الطرق السكونيّة إلى نقطة هامة في عام 1998 بتأسيس الشركة AbsInt Angewandte Informatik GmbH. وبعد نقاشات تمهيدية مع مكاتب TÜVs[10] الألمانية تبيَّن أن قوة السوق الكامنة لتحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة المُعتمد على أداء الاختصار تبرر جهد التسويق المبذول. كانت الشركة Airbus من أوائل الشركات التي عرفت القوة الكامنة للتقنية الجديدة. كانت الشركة Airbus المُحرِّكَ في مشروع "تقانات مجتمع المعلومات Information Society Technologies (IST)" الأوروبي المُسمى Daedalus (الذي يُعنى بإقرار صلاحية البرمجيات الحرجة باستعمال تحليل الحالة واختبار الاختصار)، والذي كيَّفَت إبّانه الشركة AbsInt سلسلة أدوات نماذجها الأولية لتحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة للوفاء بالمتطلبات الصناعية لبرمجيات الطيران.[41,35,34] كانت أولى المعالجات المزوَّدة بالأداة التجارية الجديدة لتحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة، معالجاتٍ من الشركة Motorola طراز PowerPC 755، والشركة Texas Instrument (TI) طراز TMS470. تعرف هذه الأداة، التي تستعمل البنيان الموصوف سابقاً، باسم مُحلِّل زمن تنفيذ أسوأ حالة aiT.

[8] http:/www.mrtc.mdh.se/projects/wcet/benchmarks.html/.

[9] http:/www.mrtc.mdh.se/projects/wCC/.

[10] technical inspection offices: مكاتب الاستقصاء التقنية.

تعود النتائج الأولية المنشورة للمعالج الأكثر تعقيدا PowerPC 755 والذي كانت تغيرات أزمنة تنفيذ التعليمات فيه من رتبة عدة مئات. وقد أظهرت المُقارَنة أن الحدّ الأعلى المحسوب لمهمة، يزيد بـ 25٪ عن الزمن المَقيس لذات المهمة، أما القيمة الحقيقية لزمن تنفيذ أسوأ حالة، وغير القابلة للحساب، فكانت ما بين القيمة المحسوبة والقيمة المَقيسة. استغرق زمن التحليل وسطياً 12 ساعة لكل برنامج، وقاربت الذاكرة العظمى المطلوبة 3 جيغا بايت. ومنذ ذلك الحين أُدخلت، وباستمرار، تحسينات على سلسلة الأداة aiT بتضمينها نتائج أبحاث جديدة، وهي تَدعم الآن ما يقارب 20 هدفاً للمعالج.[11] إن مقدار المُغالاة في التقدير في المعالجات الصغرية الأكثر بساطة، أقل من 10٪.[12]

جرى اعتماد عمليات اقتران الأداة بأدوات تطوير أخرى. مثال ذلك اقتران الأداة aiT بمولدات رِماز تعتمد على النموذج، مثل المولدات Esterel SCADE[9] و dSPACE Target Link[20]. وقد مكَّن ذلك من إجراء تقييمٍ مستمر لأداء توقيت أسوأ حالة خلال تطوير البرمجيات. كما مكَّن الربط بين نتائج التحليل ومستوى النموذج من تعقُّب معلومات التوقيت عَوْداً إلى مستوى النموذج. كما يمكن كشف الأخطاء مبكراً خلال عملية التطوير، ومن ثَمَّ تَجنُّب تراكم المشاكل في مراحل متأخرة. كما يمكن تحقيق آلية استمثال هامة أخرى بمكاملة الأدوات لحساب زمن تنفيذ أسوأ حالة وزمن استجابتها. يوفِّر اقتران الأداة aiT بالأداة SymTA/S من الشركة Symtavision مقاربة سَلِسة لتحليل التوقيت: تحسب الأداة SymTA/S كامل أزمنة التنفيذ وأزمنة استجابة أسوأ حالة للنظام، اعتمادا على أزمنة تنفيذ أسوأ حالة المحسوبة بالأداة aiT.[19] ولتوكيد الأمان، يُجرى اختبار يعتمد على النموذج لبيان خصائص البرنامج التشغيلية، ويجرى تحليل سكونيّ لإثبات غياب أخطاء برنامج غير وظيفية. ولهذا، قد يكون من المُفيد جداً مكاملة الاختبارات المعتمِدة على النموذج مع التحليل، وهذا الأمر جرت معالجته عن طريق اقتران الأداة aiT وأداة الاختبار BTC Embedded Tester التي تعتمد على النموذج.[18] إن معلومات مستوى النموذج، مثلها مثل نموذج التنفيذ أو خصائص البيئة، تؤخذ بالحسبان آلياً، مما يُجنِّب تكرار الجهد اللازم لإعداد الاختبار والتحليل. وبهذا، تنطلق عمليات الاختبار والتحليل على نحو سَلِس، وتُعطي نتائج موحَّدة.

جرَت، خلال السنوات الأخيرة، مراجعة شاملة لمعظم مَقايس السلامة ذات العلاقة، مثل: DO-178، و IEC-61508، و CENELEC EN-50128. نُشِر في عام 2011 المِقْيَس ISO-26262، الذي يُعرِّف الأمان الوظيفي للعربات التي تسير على الطرقات. على كافة المَقايس أن تُعرِّف المخاطر الوظيفية وغير الوظيفية المُحتَملة، وأن تُبيِّن أن البرمجيات لا تُخلُّ بأهداف السلامة ذات العلاقة. جَدولت كافة المَقايس المذكورة زمن تنفيذ أسوأ حالة لخصائص البرمجيات المُزمع تخصيصها لبرمجيات الزمن الحقيقي. عند استعمالها في عملية إقرار الأنظمة الحرجة المرتبطة بقضايا السلامة، يجب على الأدوات أن تكون ملائمةً، وفقاً لمِقيَس السلامة المتَّصل بالموضوع. وتدعيماً لهذا الأمر، طوَّرت الشركة AbsInt مجموعات دعم صلاحية (QSK) للأداة aiT يمكنها بيان أنّ الأداة تعمل على نحو صحيح في السياق العملياتي للمستخدِم. إضافة إلى ذلك، تتوفر تقارير عن معطيات دورة حياة برمجيات الكفاءة (QSLCD)[13] تُوثِّق كامل عملية تطوير الأداة aiT ولكافة المعالجات والمُصرِّفات، تتضمَّن كافة نشاطات التحقق وتوكيد الجودة. تُفعِّل مجموعات دعم الصلاحية (QSK) ومعطيات دورة حياة برمجيات الكفاءة (QSLCD) كفاءة الأداة حسب مِقيَس السلامة المُعتمد، بطريقة شبه مؤتمتة، وصولاً إلى أعلى مستويات الحَرَج.[22]

[11] http:/www.absint.com/ait/targets.htm.

[12] http:/www.absint.com/ait/precision.htm.

[13] QSLCD: Qualification Software Life Cycle Data.

تَضم قائمة زبائن الأداة aiT جميع القطاعات الصناعية ذات الارتباط بالسلامة: الطيران والفضاء، والآليات، ووحدات التحكم في محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل بالطاقة النووية، وتقانات العناية بالصحة، وغيرها. ولكن، ويا للأسف، لا يوافق معظم زبائن الأداة aiT على إدراجهم كمَرجعيّات. يضم الموقع *http:/absint.com/success.htm* قائمة بأولئك الذين يوافقون على ذلك. وفي عام 2010، استعملت وكالة ناسا الأداةَ aiT بوصفها أداة مِقيَس صناعي لبيان عدم وجود عيوب برمجية تتعلق بالتوقيت في التحريات التي أجرتها عن التسارع غير المقصود في منتجات شركة تويوتا للسيارات.[27]

الأسئلة المفتوحة والتحديات المستقبلية

عرضنا في هذه المقالة حلاً لمشكلة تحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة. ومع هذا، فثمة نقاط ضعف مازالت قائمة، وستساهم إزالتها في زيادة إمكان التطبيق عموماً. سنستعرض هنا هذه العيوب إضافة إلى التهديدات المستقبلية لقابلية استمرار هذا الحل.

وبغية الشمول، سنستعرض الفرضيات الأساسية لمقاربتنا. من أجل البرنامج المطلوب تحليله: الانتهاء، وعدم وجود رماز ذاتيّ التعديل، وانعدام تحصيص ذاكرة ديناميكية، وعُقد تفريع ديناميكية قابلة للحل.

هذه الفرضيات سهلة التحقيق، ويمكن للمطوِّر أن يُزوِّدها، أو أن تُستنتَج من نموذج ذي مستوى أعلى. ومع أن رِماز المصدر يخضع لقوانين ناظمة ولمعايير، لكن ليس لذلك علاقة بتحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة الذي يتطلَّب دخلاً اثنانياً.

يتطلَّب التحليل السكونيّ نموذجاً حقيقياً للبنيان المطلوب تحليله. تُستكمَل نماذج الاختصار الحالية بدراسة وثائق العتاديات، وبسؤال المصممين، وبسؤال مَن يعرف، وبإجراء تجارب هندسة عكسية إذا لزم الأمر. أما البديل القادم لهذه العملية، المعرَّضة للخطأ والتي تتطلَّب جهداً بالغاً، فهو استخلاص نماذج مختصرة abstract models من مواصفات VHDL[14] أو Verilog[15]. [31]

إن أحد الافتراضات الهامة التي نضعها على مستوى النظام هو أن تُنفَّذ البرامج على نحو منفرد. فإذا جرت مقاطعة برنامج، على حين بقي رِماز آخر في قيد التنفيذ، فإن الحالة البنيانية ستكون مختلفة عند استئناف تنفيذ البرنامج. ومن ثَمَّ، فإن الثوابت المحسوبة، على أساس هذه الحالة البنيانية، عند كافة نقاط البرنامج التالية ستكون خاطئة. ونحتاج إلى تحليل إضافي يسمح بتحديد الزيادة في زمن التنفيذ الناجمة عن المقاطعة.[2] تُعتبر التدابير اللاوقائية، كما هو الحال في أمور الطيران، على سبيل المثال، الخيار الأسهل، على الأقل لما يتعلَّق بتحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة (WCET).

في الحقيقة، يمكن صياغة هذه الفرضية بطريقة أعمّ: يأخذ التحليل بالحسبان فقط أحداثاً يرتبط حدوثها بنقاط معينة من البرنامج. أما الأحداث الأخرى التي تحدث دون هذا الارتباط والتي تُغيِّر الحالة البنيانية، فيجب التعامل معها على نحو منفصل. تُعتبر التدابير الوقائية، التي تجري باستعمال مقاطَعات العتاديات، أحدَ الأمثلة. أما الأمثلة الأخرى فتشمل:

[14] VDHL: Very High Speed Integrated Circuit (VHSIC) Hardware Description Language، هي لغة تصف أداء وبنية الأنظمة الإلكترونية وخاصة النظم الرقمية التي من قبيل FPGA و ACICS. المترجم

[15] Verilog: هي المقيس IEEE 1364 الذي يوصّف لغة توصيف عتاديات تستعمل في النظم الإلكترونية Hardware Description Language. المترجم

مُنشِّطات DRAM، أو تحويلات DMA، أو اعتماد التنفيذ التفرُّعي للبرامج على معالجات متعددة أو على منصات متعددة المعالِجات.

تكمن مشكلة التنفيذ التفرُّعي للبرامج في التداخل المُحدَث على المَوارد البنيانية المُشتركة بين البرامج، مثل، الخوابي، والوصلات البَيْنية، والذواكر الومضية، والطرفيات، وغيرها. ولابد من مزامنة بعض عمليات النفاذ إلى المَوارد المشتركة، وخاصة المتغيرات الشاملة، لضمان توافق دلالات البرامج التي تُنفَّذ على التوازي. أما فيما يتعلق بالبقية، فإن الترتيب الذي تَنفُذ وِفْقَه السلاسل المتنافسة إلى مَوارد الآلة المُشترَكة غير ثابت سكونيّاً. وهذا يُعقِّد تحليل التوقيت، إذ قد يؤخَّر أي نفاذ إلى مَورِد مشترك لوجود نفاذٍ مُنافس. إن إحدى الطرق المتَّبعة لإثبات، على نحوٍ سكونيّ، عدم وجود مثل هذا التأخير، هي تحليل الاختصارات المقدَّمة من كل برنامج عن سلوك نفاذ كافة البرامج الأخرى التي تُنفَّذ على التوازي، إلى المَورد. يقدِّم السيد شرانزهوفر وزملاؤه،[32] أحد الأمثلة على ذلك، أما مسألة إيجاد اختصارات مناسبة للمشكلة العامة فما زالت غير محلولة.

لتخفيف مشاكل تحليل التوقيت، يمكن اللجوء إلى تخفيض التداخلات على المَوارد بتشكيلٍ ذكيّ لوحدة المعالجة المركزية CPU أو لبطاقة النظام.[31,7] وبدلاً من " محاربة طواحين الهواء "، أي، محاولة إصلاح تصاميم غير ملائمة لتحليل زمن تنفيذ أسوأ حالة، يمكن تجريب تصميم البنى على نحو ملائم في المقام الأول.[44,42] تعني عبارة ملائم، أنه يمكن بسهولة التنبؤ بسلوكها مع استمرارها بتقديم أداء عالٍ. عُرفت الحاجة لقابلية التنبؤ مبكِّراً،[35] ومنذ ذلك الحين جرى تحرِّيها بطُرق متعددة، من قبيل ما قدمَّه السادة: Henzinger،[17] و Bernards،[5] و Thiele.[42] إلا أن فَهْم قابلية التنبؤ في مجتمع الزمن الحقيقي مازال ضمنياً. ومازال البحث جارياً عن تعريف اصطلاحيّ مقبول عموماً. يبحث المقال المشترَك للسيد Axer وزملائه، في قابلية التنبؤ أساساً وعند مستويات اختصار متعددة للأنظمة.

الخلاصة

أصبح تحليل التوقيت صعباً باستعمال المعالجات الصِّغرية العالية الأداء، التي تستعمل الخوابي، وقنوات التوارد العميقة، وعمليات التنفيذ غير المنظَّمة، وعمليات التنبؤ بالتفريع، لتحسين أداء الحالة المتوسِّطة. فقد أدخَلت هذه العناصر البنيانية تغيراً كبيراً في أزمنة تنفيذ التعليمات الإفرادية اعتماداً على حالة التنفيذ. يَكمن الحل في وضع حد لأزمنة تنفيذ سلاسل من التعليمات تحدث في البرنامج اعتماداً على معلومات عن جميع تواريخ التنفيذات الممكنة التي سبقت هذا التنفيذ. يُستعمَل تحليل البرنامج السكونيّ لحساب مثل هذه المعلومات. يمكن هنا حساب الحدود العليا بدقة وموثوقية. تُستعمل أدوات تحليل التوقيت باستمرار في صناعة الأنظمة الحرجة التي ترتبط بقضايا السلامة.

يعتمد إمكان تعيين حدود أزمنة التنفيذ ودقة النتائج كثيراً على خصائص بنيان الحاسوب الأساسي. إن التوجُّهات المتَّبعة في بنيان الحاسوب وفي تصميم البرمجيات، تُهدِّد إمكان تطبيق الطرق الراسخة. تُعتبر حقيقة أن مسألة تحليل التوقيت يمكن حلها بطريقة صحيحة قابلة للبرهان، إحدى القصص الناجحة للطرق الأساسية. سيحتاج الاستمرار بهذه القصة إلى بِنىً أكثر قابلية للتنبؤ إضافة إلى تطورات في تقنيات التحليل.

كلمة شكر

نشكر زملاءنا الكُثر الذين ساهموا في المقاربة المذكورة، وهم: Christian Ferdinand، و Florian Martin، و Henrik Theiling، و Michael Schmidt، و Stephan Thesing، و Reinhold Heckmann، و Daniel Kastner، و Jan Reineke.

دُعم تطوير التقانات من قِبَل: مشروع التحويل 14 للشركة Deutsche Forschungsgemeinschaft، والمشروع IST الأوروبي، ومركز البحث الدولي: AVACS of the Deutsche Forschhungsgemeinschaft.

المَراجع

[1] Ernst Althaus, Sebastian Altmeyer, Rouven Naujoks, Precise and efficient parametric path analysis, Proceedings of the 2011 SIGPLAN/SIGBED conference on Languages, compilers and tools for embedded systems, April 11-14, 2011, Chicago, IL, USA [doi>10.1145/1967677.1967697]

[2] Sebastian Altmeyer, Robert I. Davis, Claire Maiza, Improved cache related pre-emption delay aware response time analysis for fixed priority pre-emptive systems, Real-Time Systems, v.48 n.5, p.499-526, September 2012 [doi>10.1007/s11241-012-9152-2]

[3] Axer, P. et al. Building timing predictable embedded systems. Trans. Embedded Computing Systems (2012).

[4] Gogul Balakrishnan, Thomas Reps, WYSINWYX: What you see is not what you execute, ACM Transactions on Programming Languages and Systems (TOPLAS), v.32 n.6, p.1-84, August 2010 [doi>10.1145/1749608.1749612]

[5] Bernardes, J.N.C. On the predictability of discrete dynamical systems. In Proc. of the American Math. Soc. 130, 7 (2001), 1983--1992.

[6] Patrick Cousot, Abstract Interpretation Based Formal Methods and Future Challenges, Informatics - 10 Years Back. 10 Years Ahead., p.138-156, January 01, 2001

[7] Cullmann, C. et al. Predictability considerations in the design of multi-core embedded systems. In Proceedings of Embedded Real Time Software and Systems (May 2010), 36--42.

[8] Christian Ferdinand, Reinhold Heckmann, Marc Langenbach, Florian Martin, Michael Schmidt, Henrik Theiling, Stephan Thesing, Reinhard Wilhelm, Reliable and Precise WCET Determination for a Real-Life Processor, Proceedings of the First International Workshop on Embedded Software, p.469-485, October 08-10, 2001

[9] Ferdinand, C. et al. Combining a high-level design tool for safety-critical systems with a tool for WCET analysis on executables. In Proceedings of the 4th European Congress ERTS Embedded Real-Time Software (Toulouse, France, Jan. 2008)

[10] Christian Ferdinand, Reinhard Wilhelm, Efficient and Precise Cache Behavior Prediction for Real-Time Systems, Real-Time Systems, v.17 n.2-3, p.131-181, Nov. 1999 [doi>10.1023/A:1008186323068]

[11] Grund, D. Static Cache Analysis for Real-Time Systems---LRU, FIFO, PLRU. Ph.D. thesis. Saarland University, 2012.

[12] Daniel Grund, Jan Reineke, Gernot Gebhard, Branch target buffers: WCET analysis framework and timing predictability, Journal of Systems Architecture: the EUROMICRO Journal, v.57 n.6, p.625-637, June, 2011 [doi>10.1016/j.sysarc.2010.05.013]

[13] Gustafsson, J., Betts, A. Ermedahl, A. and Lisper, B. The Mälardalen WCET benchmarks: Past, present and future. In Proceedings of the 10th International Workshop on Worst-Case Execution Time Analysis.

[14] Jan Gustafsson, Andreas Ermedahl, Christer Sandberg, Bjorn Lisper, Automatic Derivation of Loop Bounds and Infeasible Paths for WCET Analysis Using Abstract Execution, Proceedings of the 27th IEEE International Real-Time Systems Symposium, p.57-66, December 05-08, 2006 [doi>10.1109/RTSS.2006.12]

[15] Christopher Healy, Mikael Sjödin, Viresh Rustagi, David Whalley, Robert Van Engelen, Supporting Timing Analysis by Automatic Bounding of Loop Iterations, Real-Time Systems, v.18 n.2/3, p.129-156, May 2000 [doi>10.1023/A:1008189014032]

[16] Christopher A. Healy, David B. Whalley, Automatic detection and exploitation of branch constraints for timing analysis, IEEE Transactions on Software Engineering, v.28 n.8, p.763-781, August 2002 [doi>10.1109/TSE.2002.1027799]

[17] Henzinger, T. Two challenges in embedded systems design: Predictability and robustness. Philos. Trans. Royal Soc. Math., Phys. and Engin. Sciences, 366, 1881 (2008), 3727--3736.

[18] Kästner, D. et al. Leveraging from the combination of model-based analysis and testing. Embedded World Congress, 2013.

[19] Kästner, D., Ferdinand, C., Heckmann, R., Jersak, M. and Gliwa, P. An integrated timing analysis methodology for real-time systems. SAE World Congress. SAE International, 2011.

[20] Kästner, D. et al. Integrating model-based code generators with static program analyzers. Embedded World Congress, 2013.

[21] Daniel Kästner, Marc Schlickling, Markus Pister, Christoph Cullmann, Gernot Gebhard, Reinhold Heckmann, Christian Ferdinand, Meeting real-time requirements with multi-core processors, Proceedings of the 2012 international conference on Computer Safety, Reliability, and Security, September 25-28, 2012, Magdeburg, Germany [doi>10.1007/978-3-642-33675-1_10]

[22] Kästner, D. and Ferdinand, C. Efficient verification of non-functional safety properties by abstract interpretation: Timing, stack consumption, and absence of runtime errors. In Proceedings of the 29th International System Safety Conference (Las Vegas, 2011).

[23] Edward A. Lee, Computing needs time, Communications of the ACM, v.52 n.5, May 2009 [doi>10.1145/1506409.1506426]

[24] Yau-Tsun Steven Li, Sharad Malik, Performance analysis of embedded software using implicit path enumeration, Proceedings of the 32nd annual ACM/IEEE Design Automation Conference, p.456-461, June 12-16, 1995, San Francisco, California, USA [doi>10.1145/217474.217570]

[25] Thomas Lundqvist, Per Stenström, Timing Anomalies in Dynamically Scheduled Microprocessors, Proceedings of the 20th IEEE Real-Time Systems Symposium, p.12, December 01-03, 1999

[26] Florian Martin, Martin Alt, Reinhard Wilhelm, Christian Ferdinand, Analysis of Loops, Proceedings of the 7th International Conference on Compiler Construction, p.80-94, March 28-April 04, 1998

[27] National Highway Traffic Safety Administration Toyota unintended acceleration investigation. Technical Report TI-10-00618, NASA Engineering and Safety Center, January 2011.

[28] Peter Puschner, Alan Burns, Guest Editorial: A Review of Worst-Case Execution-TimeAnalysis, Real-Time Systems, v.18 n.2/3, p.115-128, May 2000 [doi>10.1023/A:1008119029962]

[29] Jan Reineke, Daniel Grund, Sensitivity of cache replacement policies, ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS), v.12 n.1s, March 2013 [doi>10.1145/2435227.2435238]

[30] Reineke, J. et al. A definition and classification of timing anomalies. In Proceedings of 6th International Workshop on Worst-Case Execution Time Analysis (July 2006).

[31] Marc Schlickling, Markus Pister, Semi-automatic derivation of timing models for WCET analysis, Proceedings of the ACM SIGPLAN/SIGBED 2010 conference on Languages, compilers, and tools for embedded systems, April 13-15, 2010, Stockholm, Sweden [doi>10.1145/1755888.1755899]

[32] Andreas Schranzhofer, Rodolfo Pellizzoni, Jian-Jia Chen, Lothar Thiele, Marco Caccamo, Timing Analysis for Resource Access Interference on Adaptive Resource Arbiters, Proceedings of the 2011 17th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, p.213-222, April 11-14, 2011 [doi>10.1109/RTAS.2011.28]

[33] A. C. Shaw, Reasoning About Time in Higher-Level Language Software, IEEE Transactions on Software Engineering, v.15 n.7, p.875-889, July 1989 [doi>10.1109/32.29487]

[34] Souyris, J. Industrial experience of abstract interpretation-based static analyzers. Building the Information Society. R. Jacquart, ed. IFIP 156 (2004), 393-400. Springer, Boston.

[35] Souyris, J., Pavec, E.L., Himbert, G., Jégu, V. and Borios, G. Computing the worst-case execution time of an avionics program by abstract interpretation. In Proceedings of the 5th Intl. Workshop on Worst-Case Execution Time Analysis (2005), 21--24.

[36] John A. Stankovic, Krithi Ramamritham, What is predictability for real-time systems?, Real-Time Systems, v.2 n.4, p.247-254, Nov. 1990 [doi>10.1007/BF01995673]

[37] Lili Tan, The worst-case execution time tool challenge 2006, International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT), v.11 n.2, p.133-152, February 2009 [doi>10.1007/s10009-008-0095-9]

[38] H. Theiling, Extracting safe and precise control flow from binaries, Proceedings of the Seventh International Conference on Real-Time Systems and Applications, p.23, December 12-14, 2000

[39] Henrik Theiling, ILP-Based Interprocedural Path Analysis, Proceedings of the Second International Conference on Embedded Software, p.349-363, October 07-09, 2002

[40] Thesing, S. Safe and Precise WCET Determinations by Abstract Interpretation of Pipeline Models. Ph.D. thesis, Saarland University, 2004.

[41] Thesing, S. et al. An abstract interpretation-based timing validation of hard real-time avionics software systems. In Proceedings of the 2003 International Conference on Dependable Systems and Networks (June 2003), IEEE-CS, 625--632.

[42] Lothar Thiele, Reinhard Wilhelm, Design for Timing Predictability, Real-Time Systems, v.28 n.2-3, p.157-177, November-December 2004 [doi>10.1023/B:TIME.0000045316.66276.6e]

[43] Reinhard Wilhelm, Jakob Engblom, Andreas Ermedahl, Niklas Holsti, Stephan Thesing, David Whalley, Guillem Bernat, Christian Ferdinand, Reinhold Heckmann, Tulika Mitra, Frank Mueller, Isabelle Puaut, Peter Puschner, Jan Staschulat, Per Stenström, The worst-case execution-time problem—overview of methods and survey of tools, ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS), v.7 n.3, p.1-53, April 2008 [doi>10.1145/1347375.1347389]

[44] Reinhard Wilhelm, Daniel Grund, Jan Reineke, Marc Schlickling, Markus Pister, Christian Ferdinand, Memory hierarchies, pipelines, and buses for future architectures in time-critical embedded systems, IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, v.28 n.7, p.966-978, July 2009 [doi>10.1109/TCAD.2009.2013287].

المؤلفان

رينهارد ويلهيلم (wilhelm@cs.uni-saarland.de) أستاذ في جامعة سارلاند، بمدينة ساربروكن، في ألمانيا. حيث عمل بوصفه أستاذ كرسي للغات البرمجة وبناء المترجمات منذ عام 1978.

دانييل غروند (daniel.grund@thalesgruop.com) حالياً معماريّ أنظمة في الشركة Thales Transportation Systems، بمدينة شتوتغارت، في ألمانيا. ساهم في العمل المنشور في هذه المقالة حينما كان باحثاً في جامعة سارلاند بمدينة ساربروكن، في ألمانيا.

عرض تاريخي لموضوع تَعَرُّفِ الكلام

A HISTORICAL PERSPECTIVE OF SPEECH RECOGNITION*

Xuedong Huang, James Baker, And Raj Reddy
ترجمة: د. أحمد حصري
مراجعة: د. أديب بطح

ما الذي نعرفه الآن ولم تكن معرفته متاحة لنا قبل أربعين عاماً مضت؟

إن إدخال خدمة سيري لشركة أبل Apple's Siri (وخدمات أخرى مماثلة للبحث عن الصوت يوفِرُها محرك البحث غوغل Google وشركة ميكروسوفت Microsoft)، يجعل من الطبيعي التعجب والتساؤل لماذا احتاجت تقانة تعرُّف الكلام هذا الوقت الطويل كي تتقدم إلى هذا الحد. ولنا أن نتساءل أيضاً متى نتوقع سماع المزيد عن الأداء على المستوى البشري؟ لقد كتب أحد مؤلفي هذا المقال، السيد ردي (Reddy) عام 1976 مراجعةً شاملةً لأحدث ما توصل إليه العلم بشأن تعرف الصوت في ذلك الحين. وقد يستفيد غير ذوي الخبرة في هذا المجال من قراءة المقال الأصلي[34]. ولسوف نقدم هنا عرضاً تاريخياً جامعاً للتقدم الذي تم في حقل تعرف الكلام. ونظراً لضيق المجال، لن نحاول تقديم عرض تقني مستفيض وإنما سنحصر حديثنا لمناقشة المعرفة التي افتقرنا إليها لتعرف الكلام قبل أربعين عاماً، وما هي التطورات المستحدثة التي أسهمت في التغلب على بعض المسائل الشائكة جدًّا.

لقد كان موضوع تعرف الكلام مطلباً أساسياً للخيال العلمي لسنوات عديدة، إلا أنه في عام 1976 كانت الإمكانات في حقيقة الأمر تحمل القليل من الشبه مع الإمكانات المتوفرة في عالم الخيال العلمي. ومع ذلك، تنبأ ردي Reddy بإمكان بناء نظام ذي صلة بالكلام تكلفته 20,000 دولار في غضون عشر

أضواء مفتاحية

- نستقصي هنا الخبرات والتطورات التي اكتسبناها حول التعرف الآلي لِلكلام خلال السنوات الأربعين الماضية. وهي تطورات قدمتها أجيال العاملين في البحث والتطوير بجامعة كارنيجي ميلون Carnegie Mellon.
- لقد تم إحراز تقدمات عديدة على مر السنين أثبتت عملها الجيد في منظومات صناعية رائدة في مجال التعرف الآلي للكلام بدءاً من أبل Apple وحتى ميكروسوفت Microsoft.
- ستجتاز بحوث التعرف الآلي للكلام الاختبار الحاسم وستجعل رؤية الأجهزة المحمولة من أمثال ما ورد في المسلسل التلفزي الشهير Star Trek حقيقة. وستردم الهوة بين الإنسان والآلة. ولسوف تسهل فهم الكلام العامي بين الناس وتزيد منه. إن أمامنا تحديات ستة ينبغي مواجهتها لتحقيق هذا الحلم الجريء.

* *نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 57، العدد 1، كانون الثاني (يناير) 2014، الصفحات 94 – 103.*

سنوات. ومع أنه استغرق وقتاً أطول مما كان متوقعاً، لم تتحقق الأهداف فقط في نهاية المطاف، بل كانت تكاليف النظام أقل بكثير واستمرت في الانخفاض. وها نحن نشهد اليوم العديد من الهواتف الذكية smart phones تقدم مجاناً خدمة تعرف الكلام تفوق توقعات ردي وتنبؤاته. إن تصورات الخيال العلمي غالباً ما تطغى على الحقيقة ولا يستثنى من ذلك إلا القليل، والحقَّ نقول إن التعرف الآلي للكلام هو من هذا القليل. أضف إلى ذلك أن تعرف الكلام حقل فريد ليس بسبب نجاحاته فحسب، إذ بالرغم من الإنجازات التي حققها، فإن هناك تحديات إضافية مازالت قائمة لا تَقِلّ عُسْراً عن تلك التي تم التغلب عليها حتى يومنا هذا.

في عام 1995، حُمِلَت ميكروسوفت سابي Microsoft SAPI لأول مرة في ويندوز 95 لتمكين مطوري التطبيقات من إدخال تطبيقات الكلام على ويندوز. وفي عام 1999 أُسِّس منتدى لغة VoiceXML دعماً للاستجابة الصوتية التفاعلية الهتفية telephony IVR. وفي حين كانت استجابة IVR الهتفية الممكَّنة كلامياً speech-enabled ناجحة تجارياً، تبين أن التشبيه المتعدد الوسائط باستخدام الكلام دَخْلاً "speech in" والشاشة خَرْجاً "screen out" كان أكثر ملاءمة للاستهلاك المعلوماتي (information consumption). وفي عام 2001 عرض بل غيتس Bill Gates مدير ميكروسوفت نموذجاً أولياً لهاتف لوحي عرف باسم MiPad في معرض التقانات الاستهلاكية الإلكترونية CES[1][16]. يبين هذا الهاتف اللوحي رؤيةً للأجهزة المحمولة المتعددة الأشكال باستعمال تقنية الكلام. ومع آخر اعتمادٍ لتعرُّف الكلام مستعمل في منتجات أبل Apple وغوغل Google وميكروسوفت Microsoft، فإننا نشهد القدرة على التحسين المستمر للأجهزة، للتعامل مع حوارات متعددة الأشكال غير محدودة نسبياً. إننا نشهد في واقع الأمر نتائج عدة عقود من البحث والتطوير R&D بالرغم من بقاء عدد من التحديات. ونعتقد أن جمهور المهتمين بموضوع تعرف الكلام سيجتاز اختباراً يعد منعطفاً خلال السنوات الأربعين القادمة وسيحقق الهدف النهائي وهو مُضاهاة وتجاوز مقدرة الإنسان لتعرف الكلام في سيناريوهات نصادفها يومياً.

لسوف نلقي الضوء الآن على التقانات المتعلقة بتعرُّف الكلام التي أثبتت لها وجوداً في الحياة العملية، ونعرض مجالات ستة جوهرية للتحديات التي تعيق انتقال التعرف الآلي للكلام من وضعه الحالي، المتمثّل بالخدمات الاستعراضية على الأجهزة المحمولة، إلى مستوىً أعلى. وبالإمكان الاطلاع على تفاصيل تقنية أكثر استفاضة في المقالات المنشورة خلال السنوات العشر الفائتة بما في ذلك مجلة جمعية مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE تحت عناوين من أمثال: IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing and Computer Speech and Language، إضافة إلى محاضر جلسات المؤتمرين الدوليين ICASSP[2] و Interspeech وورشات العمل التي تقيمها جمعية IEEE حول ASRU. إضافة إلى العديد من المقالات والكتب التي تعالج المنظومات والتقانات التي تطورت خلال السنوات الأربعين الماضية [9,14,15,19,25,33,36,43].

أسس التعرف الآلي لِلكلام

ترأس ألن نويل Allen Newell عام 1971 مجموعة تدرس موضوع التعرف الآلي للكلام فاقترح مجالات ومصادر أخرى من المعرفة لمعالجة المسألة عدَّد منها ست مجالات هي: صوتية acoustic، وبارامترية parametric، ولفظية phonetic،

[1] Consumer Electronics & Consumer Technology trade Show. المترجم

[2] International Conference on Acoustic Speech & Signal Processing. المترجم

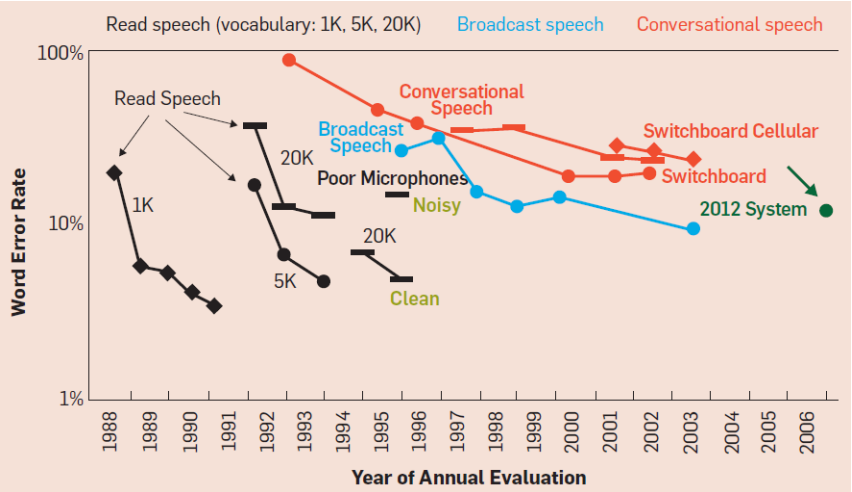
ومعجمية lexical، وجملية sentence، والدلالة (اللفظية) semantic. ولقد عرض كلات klatt[23] في مقال له أداء منظومات متنوعة لفهم الكلام مدعومة مالياً من وكالة مشاريع البحوث المتقدمة ARPA تحقق أهداف تقرير ألن نويل.

وبحلول عام 1976 قاد ردي (Reddy) مجموعةً في جامعة كارنيجي ميلون Carnegie Mellon University من بين عدد صغير من مجموعات البحث مُوِّلت لتحري الأفكار التي تقدم بها نويل في تقريره، وذلك برعاية من وكالة مشاريع بحوث الدفاع المتقدمة الطويلة الأمد DARPA التي تُعنى ببحوث فهم الكلام SUR. ولقد طورت هذه المجموعة سلسلة من أنظمة تعرف الكلام منها: Hearsay، Dragon، Harpy، Sphinx I/II. وعلى مدى أربعة عقود، أنشأ ردي وزملاؤه عدة عروض تاريخية لأنظمة اللغة الدارجة spoken language مثل التحكم الصوتي بالربوط، والتعرف الآلي للكلام المرتبط بمجموعة كبيرة من المفردات، والتعرف الآلي للكلام بصَرْف النظر عن المتكلم، إضافة إلى إملاء مفردات غير مقيدة بموضوع محدد. ولقد كانت منظومة Hearsay-I من أوائل المنظومات التي تمكنت من التعرف الآلي لِكلام مستمر. في حين كانت منظومة Dragon من بين أوائل المنظومات التي نمذجت الكلام على أنه إجرائية إحصائية. أما منظومة Harpy فقد اعتمدت مفهوم البحث عن حزمة ترددية Beam Search وهو مفهوم وتقنية واسعة الانتشار منذ عقود، أثبتت كفاءتها التنقيبية searching في مجال التلاؤم أو البحث عن المطابقة matching. أما Sphinx-I الذي ابتُكِر عام 1987 فكان أول نموذج يتعرف الكلام مستقلاً عن المتحدث. وأما Sphinx-II الذي ابتُكِر عام 1992 فقد استفاد إلى حد بعيد من الوسطاء المرتبطة tied parameters لموازنة إمكان التدريب trainability والفعالية efficiency لكل من المزج الغاوصي Gaussian mixture ومستوى الحالة الماركوفية Markov state level، وقد حصل هذا المفهوم عام 1992 على أعلى دقة في تعرف الكلام وفق تقييم معيار الكلام المموَّل من وكالة DARPA.

لقد اعتمدت وكالة DARPA معياراً لتقييم تعرف الكلام وهو معدل الكلمات الخطأ word error rate كقياس رئيسي لكشف التقدم في هذا المضمار. ولقد وجَّه التقدمُ التاريخي العاملين في هذا المضمار للبحث عن مهام أشد صعوبة كما هو مبين في الشكل 1. وفي أحدث اختبار على لوحة المفاتيح switchboard بلغ معدل الكلمات الخطأ word error rate حداً مثيراً لإعجاب الباحثين في كل من ميكروسوفت و IBM على الترتيب [4,22,37]، وذلك عقبَ عملِ الباحثين الرائد في جامعة تورنتو وميكروسوفت [5,14] في إطار التعلم العميق deep learning framework.

لقد كان متوقعاً في بداية الأعوام 1970 أن يتطلب التعامل مع مصادر للمعرفة من مستوى أعلى إحداث خروق في مجال الذكاء الصنعي artificial intelligence. ولقد صمم نظام Hearsay بحيث يمكن أن تتواصل وتتعاون وحدات عديدة شبه مستقلة semiautonomous modules فيما بينها لإنجاز مهمة التعرف الآلي للكلام، في حين يركِّز كل من هذه النماذج على تقديم أفضل خبرة له في المجال المحدد له. بالمقابل، كانت أنظمة Dragon و Harpy و Sphinx I/II تعتمد على مبدأ نمذجة وحيد وبسيط نسبياً من الاستمثال الشامل. لقد مُثِّل كل من المستويات التي وردت في تقرير نويل Newell بإجرائية إحصائية تعرف باسم إجرائية ماركوف الخفيَّة hidden Markov process وهنا دُمجت مستويات متتالية تصميمياً بشكل كتل متداخلة بعضها في بعض nesting blocks بحيث تبدو إجرائيةُ الدمج إجرائيةَ ماركوف خفيَّةً واسعة.

إن إجرائية فك الرماز decoding لإيجاد أحسن تطابق لسلسلة الكلمات W والمطابقة لكلام الدخل X هي أكبر من مسألة بسيطة لتعرف الأشكال، فنحن نبحث هنا عن أنماط كلام عددها فلَكي. فإجرائية فك الرماز في عملية تعرف الكلام تسعى لإيجاد سلسلة من الكلمات التي تطابق النماذج الصوتية واللغوية بأفضل تطابق مع سلسلة ناقل سمات الدخل. يشار إلى إجرائية فك الرماز التي يرافقها نماذج لغوية وتدريبية صوتية على أنها إجرائية بحث. إن خوارزميات بحث الشكل التي تم



الشكل 1. التقدم التاريخي للتعرف الآلي للكلام يتضح فيه معدل الكلمات الخطأ في أداء المهام المتزايدة في الصعوبة [10]. تظهر نتائج أحدث منظومة خاصة بلوحة المفاتيح switchboard بصورة نقطة خضراء.

استقصاؤها على نطاق واسع في الذكاء الصنعي، وبحوث العمليات operations research، ونظرية الألعاب game theory تشكل أساس آلية البحث في التعرف الآلي لِلكلام.

هكذا تتضح أهمية إجرائية فك الرماز في نظام Dragon Naturally Speaking، التي تطلب تطويرها 15 عاماً بإشراف أحد مؤلفي هذا المقال وهو بيكر (Baker). ولقد عاش هذا النظام 15 عاماً خلالَ أجيال عدة من تقانة الحواسيب بعد أن حازه Nuance. لم تكتسب أنظمة Dragon شهرتها نتيجة ابتكار خوارزميات جديدة جذرياً ذات أداء عالٍ. يمكن مقارنة تطوير التقانة لمصلحة نظام Dragon Naturally Speaking بالتطور العام في الإطار الزمني الذي نعرضه في هذا المقال. لعل أبرز فارق لا يكمن في الخوارزميات ذات معدل الخطأ الأقل، وإنما في استعمال خوارزميات بأقل تكلفة وأحسن أداء. لقد كان الهدف منذ البداية لتطوير أنظمة Dragon تطوير نظام إملائي يعمل في الزمن الحقيقي ذي مفردات واسعة وكلام مستمر. ولتحقيق هذا الهدف صاغت Dragon عبارة مهمة مترابطة ستستمر لعقود وستكون ضرورية لبلوغ الهدف الطويل الأمد، ولسوف تترجم في كل إطار زمني أهدافاً قصيرة الأمد وأخرى متوسطة الأمد، بحيث تعطي أفضل تعرف آلي لِلكلام في الزمن الحقيقي باستعمال الجيل السائد من الحواسيب المكتبية desktop computers.

ماذا كنا نجهل عام 1976

لقد أحرزت كل مكوِّنات التقرير الذي أعده ردي في تقريره الأول تقدماً ملحوظاً، ولن نعدد كل المنظومات المختلفة والمناهج التي تم تطويرها على مدى عقود من الزمن. لقد أوردنا في الجدول 1 أبرز الإنجازات التي أثبتت جدارتها في العمل، والتي قادت إلى صناعة أنظمة التعرف الآلي لِلكلام. يمكننا اليوم استعمال أدوات بحث مفتوحة من أمثال HTK، Sphinx، Kaldi، CMU LM toolkit[3]، SRILM[4] لبناء نظام يعمل. إلا أن الجانب التنافسي في الصناعة استفاد في المقام الأول

[3] Carnegie Mellon University Statistical Language Modeling Toolkit. المترجم

الجدول 1. ما الذي لم نعرف كيفية عمله في عام 1976؟

النمذجة الإحصائية وآلة التعلم machine learning: التوسع في نموذج ماركوف الخفي HMM، نمذجة الفونيم (وحدة الصوت phoneme) المعتمدة على المحتوى، التنعيم الإحصائي واستراتيجيات back-off، الشبكات العصبونية العميقة DNN، التعلم بإشراف غير كامل، التدريب التمييزي من أمثال التقدير الأعظمي للمعلومات المتبادلة MMIE و MPE.

المعطيات التدريبية وموارد الحوسبة: الزيادة في الكلام مئات المرات (آلاف الساعات) والمعطيات النصية (تريليونات من الكلمات) يرافقها حساب توزعي مطرد الزيادة في وحدة المعالجة المركزية CPU ومصادر الذواكر ذات النفاذ العشوائي RAM.

معالجة الإشارة في بيئات تتسم بالضجيج: السمات التعليمية DNN-learned features، MFCC الملائم لمزيج النماذج الغاوصية، السمات الخام من المستوى الأخفض من أمثال بنوك المرشحات الملائمة لـ DNN ، الطرح الوسطي السبسترالي Cepstral mean subtraction، ميزات دلتا من المرتبة الأولى والثانية، التكيف المباشر on-line مع البيئة، الميكرفون أو صفيفة الميكرفونات ذات حذف الضجيج.

حجم المفردات والكلام غير الفصيح dis-fluent: ما بين آلاف وملايين الكلمات مدعومة من قبل N-grams و RNN كنموذج لغوي، ونماذج (الكلام) التافه garbage models الصريح، ومرونة إضافة كلمات جديدة على هيئة رسوم grapheme.

استقلالية المتحدث والتعرف التكيفي للكلام: توزيعات ممزوجة، معطيات تدريبية لمتحدثين بلهجات ومناطق سكنية مختلفة، تطبيع القناة الصوتية vocal tract normalization، اللازمية العظمى اللاحقة منطقياً MAP، الاحتمال الأعظمي للانكفاء الخطي MLLR والتعلم التكيفي للمتحدث بدون إشراف.

مفكك الرماز الفعال: البحث الفيتربي Viterbi المتزامن ومفكك رماز المكدس A* stack، وما يرافقهما من تقنيات التشذيب المعقدة، التنجيز الموزَّع لدعم مفكّكات الرماز التي تعتمد المخدِّمات على نطاق واسع في زمن التشغيل runtime.

فهم اللغة المنطوقة والحوار: وسيلة إعراب منيعة تعتمد إطار الحالة، الحقل العشوائي الشرطي (CRF) شبه الماركوفي، شجرة قرار معززة، إدارة حوار تعتمد القواعد rule-based أو تعتمد إجرائية قرار ماركوفية، وشبكات عصبونية متكررة لفهم الجمل.

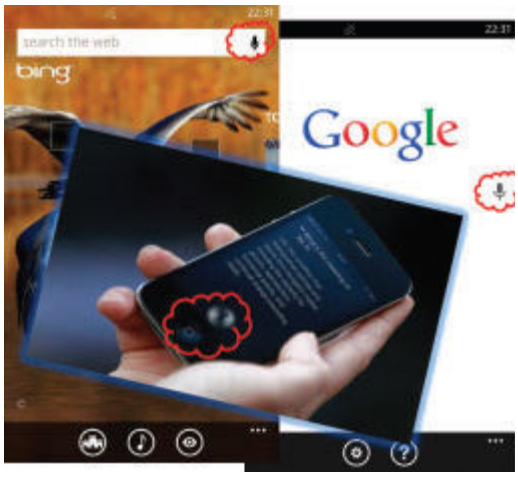
من استعمال قدر هائل من المعطيات مُتوفر هنا وهناك في السحابة الإلكترونية لتحديث وتحسين النموذج الصوتي والنموذج اللغوي باستمرار. ولسوف نناقش هنا التقدم الذي تم إحرازه والذي مكَّن من البحث الكلامي على الهواتف المحمولة من إنتاج Apple و Google وميكروسوفت الظاهرة في الشكل 2.

إن إقامة إطار التعلم الآلي الإحصائي statistical machine–learning framework مدعوماً بالبنية الحاسوبية والمعطيات التدريبية شكلت في مجموعها قوة دافعة لتطوير التعرف الآلي لِلكلام. كل ذلك سمح للآلة أن تتعامل مع تمثيلات الصوت اللفظي والكلام والجمل والمعرفة الدلالية بأسلوب موحَّد. فعلى سبيل المثال، لا ضرورة هناك لِعَنْونة المجموعات الصوتية وتجزئتها. إن التوافق اللفظي والتحقق الكلمي تم توحيدهما مع توليد سلسلة الكلمة الذي يعتمد على

[4] Stanford Research Institute Language Modeling. المترجم

المعدل الإجمالي الأعظمي باستعمال النموذج اللفظي الصوتي المعتمد على المحتوى context-dependent phonetic acoustic model.

التعلم الآلي الإحصائي. لقد بَحثتْ طرائق التعرف الآلي لِلكلام في البداية عن أقرب صوت ملائم وعنونته وذلك من بين جملة من العناوين. وفي النماذج غير الاحتمالية هناك «مسافة» بين عناوين الأصوات يعتمد تقديرها على مدى تقارب الصوتين عندما تجري مقارنتهما. أما النماذج الاحتمالية فتقدر في أحد أشكالها الاحتمال الشَّرطي conditional probability لملاحظة عنوان صوت محدد على أنه أفضل عنوان ملائم، مشترطة على العنوان الصحيح أن يكون عنواناً افتراضياً، ويسمى أيضاً احتمال «التباس». ولتقدير قيمة الالتباس يتطلب كل صوت محتمل مع كل عنوان ممكن معطيات تدريبية أكثر مما يتطلبه تخمينُ وسطيِّ التوزع الغاوصي، وهو تمثيل آخر شائع للكلام. تقابل هذه الطريقة جزء «العنونة» و«التقطيع والعنونة» المذكورة في ورقة البحث التي أعدها ردي عام 1976 سواء رافقها تقطيع أو لم يرافقها وهو ما كان شائعاً في الثمانينيات في النماذج غير الإحصائية. وقد تكون هذه المسافة مجرد معدلٍ ينبغي جعله أصغرياً.



الشكل 2. تجهز محركات بحث حديثة مثل Bing و Google بزر ميكرفون (بلون أحمر) تمكّن المستخدم من البحث الصوتي على الشبكة العنكبوتية Web. إن الهاتف المحمول Apple iPhone Siri، وهو ليس محرك بحث (لكن يمكن البحث به على الشبكة بواسطة Bing) مجهَّز بزرّ ميكرفون أكبر بكثير وذلك لأغراض الحوار الكلامي المتعدد الأشكال multimodal.

لقد حدث تغير جوهري في تمثيل المعرفة الخاصة بالتعرف الآلي لِلكلام عندما كان ردي بصدد نشر مقالته. ويتمثل هذا التغيير بتمثيل الكلام على أنه إجرائية ماركوف الخفية hidden Markov process وهي آلية يشار إليها عادة بـ HMM وهو لفظ مركب من العبارة Hidden Markov Model. تجدر الإشارة إلى أن هذا التعبير مغلوط بعض الشيء نظراً لأن الشيء الخفي إنما هو الإجرائية وليس النموذج.[2] ويعبر عن هذه الإجرائية رياضياً بأنها إجرائية تعلّم خوارزمية يرافقها نظرية تقارُب ذات تطبيقات عديدة تعرف باسم خوارزمية التوقع الأعظمي Expectation–Maximization algorithm ويرمز لها اختصاراً بـ (EM) [3,8]. إن كفاءة إجرائية ماركوف الخفية عالية جداً عند تطبيق خوارزمية تعرف باسم Forward-Backward algorithm أي خوارزمية أمامية–خلفية. تجدر الإشارة إلى أنه في نهايات الأعوام 1980 طورت تقنيات تدريب إحصائية تمييزية discriminative تعتمد معيار القيمة العظمى للمعلومات المتبادلة أو معيار الخطأ الأقل. [1,13,21]

لقد ساد قبل عام 2010 استعمال مزيج من إجرائية ماركوف الخفية HMM التي تعتمد على كثافات غاوصية Gaussian densities كتقانة متقدمة في مجال التعرف الآلي لِلكلام. إن من سماتِ ومميزاتِ هذه الإجرائيات: المعامِلات MFCC [6]. وبالرغم من وجود جهود عديدة للبحث عن سمات تُقلِّد إجرائية السمع عند الإنسان، سوف نلقي الضوء فقط

على تطور هام يوفر تمثيلاً مميزاً تعليمياً يرافقه إقحام معمق للشبكات العصبونية DNN. لقد أمكن بفضل هذه الشبكات التغلب على موضوع تمثيل المعطيات في نموذج المزيج الغاوصي وذلك بأن تحل محله مباشرة [14]. كما يمكن استعمال التعلم العميق لتعلم سمات تمييزية قديرة لمصلحة الإجرائية HMM التقليدية للتعرف الآلي لِلكلام. [37] تكمن ميزة هذا النظام الهجين في إمكان استعمال تقانات تعرُّفٍ لِلكلام طورها الباحثون خلال عشرات السنين استعمالاً مباشراً. لقد خفَّض ضم الشبكات العصبونية العميقة DNN إلى إجرائية ماركوف الخفية HMM الخطأ بدرجة كبيرة في التعرف الآلي لِلكلام [4,14,22,37]، وذلك بالمقارنة بوسائل سابقة [29,40]. ففي النظام الجديد تمثَّل أصناف الكلام للشبكات العصبونية العميقة DNN على أنها حالات من الإجرائية HMM المرتبطة– وهي تقنية موروثة من أنظمة كلام أكثر قِدماً. [18]

إن استعمال الإجرائيات الماركوفية لتمثيل المعرفة اللغوية كان موضوع جدل. فقد عرف اللغويون أنه لا يمكن تمثيل لغة طبيعية حتى لو خلا سياق الكلام من القواعد، بل وبدرجة أقل بقواعد حالة محدودة. وبالمثل فإن خبراء الذكاء الصنعي يشككون بدرجة أعلى بمقدرة إجرائية بسيطة كإجرائية ماركوف على تمثيل مصادر المعرفة من مستوًى أعلى يقترحها تقرير نويل.

ومع ذلك فإن هناك فرقاً جوهرياً بين افتراض أن اللغة ذاتها هي إجرائية ماركوف وبين نمذجة اللغة على أنها دالة أو تابع احتمالي لإجرائية ماركوف الخفية. فالنموذج الأخير هو وسيلة تقريبية لا تفترض أي افتراض حول اللغة، وإنما تقدم وصفة للمصمم لاختيار ما يمثل الإجرائية الخفية. إن الميزة المحددة لإجرائية ماركوف هي أنه انطلاقاً من الحالة الحالية فإن احتمالات الحوادث المستقبلية ستكون مستقلة عن أية معلومات إضافية حول التاريخ السابق للإجرائية. وتعني هذه المِيْزة أنه إذا توفرت أية معلومة عن التاريخ السابق للإجرائية المدروسة (من أمثال الكلمات وواحدات الكلمة الفرعية) فإن على المصمم أن يرمِّز تلك المعلومة على أنها حالة مميزة في الإجرائية الخفية. ينتج من ذلك أن كل مستوًى من مستويات سلسلة نويل Newell Hierarchy يمكن تمثيلها بتابع احتمالي لإجرائية ماركوف الخفية وذلك بدرجة مقبولة من التقريب.

ما زالت معظم منظومات نمذجة اللغة اليوم تستعمل نماذج اللغة N-gram [5] الإحصائية ومشتقاتها، وهي نماذج تم تدريبها على تقنيات تعداد أساسية أو من نوع التوقع الأعظمي EM-Style. ولقد بدا أن هذه النماذج تتميز بمقدرة ومرونة عالية. إلا أن N-gram هو بمثابة نموذج مبسط جدًّا للغة البشر الحقيقية. وبأسلوب مماثل فإن التعلم العميق لتحسين جودة النمذجة الصوتية وكذلك الشبكات العصبونية المتكررة حسَّنت كثيراً من النموذج اللغوي N-gram [27]. تجدر الإشارة إلى أنه لا شيء يمكن أن يتغلب على مواءمة نص كبير مسبوك في مجال التطبيق لمعظم التطبيقات الحقيقية للكلام.

معطيات التدريب والموارد الحسابية. لقد مكَّنت معطيات الكلام والنصوص والمقدرة الحاسوبية الباحثين في مجال التعرف الآلي لِلكلام من تطوير خوارزميات وتقييمها لإنجاز مهمات ضخمة. إن توفر مجاميع من الكلام العامي المشاع لأغراض التدريب والتطوير والتقييم كان أمراً ضرورياً بهدف تطوير منظومات ذات إمكانات متعاظمة. ذلك لأن الكلام يعد إشارة ذات تغير شديد، ويتميز بالعديد من البارامترات، لذا فإن توفر مجاميع كبيرة منه يعد أساسياً لنمذجته لمصلحة المنظومات الآلية ولتحقيق الكفاءة. لقد قام المعهد القومي للمعايير والتقانة (NIST) إضافة إلى اتحاد المعطيات اللغوية (LDC) ومنظمة مصادر اللغات الأوربية (ELRA) وغيرها من المنظمات بتوفير مجاميع من الكلام والتعليقات على مر السنين. وهكذا تطورت سمات الكلام المسجل من مواد كلامية محدودة إلى أفق أوسع أكثر فأكثر بل وإلى كلام آني.

[5] سلسلة متجاورة من N عنصر من سلسلة كلام معطاة. المترجم

يتنبأ قانون مور Moor's Law بمضاعفة كم الحسابات من أجل تكلفة معينة كل 18-12 شهراً وتقلُّص تكلفة الذواكر بالمقابل. لقد مكننا قانون مور من استثمار المقدرة الحاسوبية لمصلحة التعرف الآلي لِلكلام. ولقد سمح لنا تعرف الكلام، المستند إلى السحابة الإلكترونية، تجميع قدر كبير من معطيات الكلام بدرجة أكثر سهولة مما كان يتصور عام 1976. ثم إن كلاً من غوغل وبنغ Bing قام بفهرسة كامل الشبكة العنكبوتية التي تتلقى بلايين التساؤلات عن طريق محركات البحث شهرياً. إن هذا القدر الكبير من التساؤلات سمح بتطوير نموذج لغوي ذي مقدرة عالية فيما يتعلق بتطبيقات البحث الكلامي.

معالجة الإشارة والسمات. يجري حساب ناقل السمات الصوتية vector of acoustic features كل عَشْر مِلِّيثانيات. ويختار لكل إطار نافذة ضيقة خاصة بمعطيات الكلام. ثم تختار كل نافذة 25 ملي ثانية من الكلام، وهكذا تتراكب النوافذ بمرور الزمن. كانت السمات الصوتية عام 1976 تشتمل عادة على قياس سعة الإشارة لكل مجموعة ترددات لكل نافذة زمنية، وكانت تحسب عادة باستعمال تحويل فورييه السريع أو باستعمال مجموعة مرشحات. يسمى منحني سعة الإشارة بدلالة التردد طيف (spectrum) النافذة الزمنية القصير للكلام، ويؤلف تتالي هذه الأطياف للكلام المنطوق بمرور الزمن مخططاً طيفياً Spectrogram[31].

إن تغير المخططات الطيفية خلال السنوات الثلاثين الماضية قاد إلى تحسينات ذات شأن في أداء إجرائية ماركوف الخفية HMM التي تعتمد مزيجاً غاوصياً بالرغم من فقدان معلومات كلامية خام raw speech information بسبب تلك التغيرات. تهدف تقانة التعلم المعمق إلى تخفيض فقدان المعلومات الكلامية بالتوازن مع البحث عن تمثيلات أكثر مقدرة للكلام المخصص للتعلم المعمق وذلك من المعطيات الخام. ونتيجة لنجاحات التعلم المعمق عاد الباحثون في مجال التعرف الآلي لِلكلام إلى استعمال مميزات الكلام الأساسية من أمثال المخططات الطيفية ومجموعات المرشحات لأغراض التعلم المعمق [11]، وهذا ما جعل الآلة تكتشف آلياً تمثيلات أكثر فائدة من الشبكات العصبونية العميقة DNN ذاتها. [37,39]

حجم المفردات. لقد ازداد الحجم الأعظمي للمفردات الخاصة بالتعرف الآلي لِلكلام بدرجة عالية عما كان عليه عام 1976. وفي واقع الأمر فإن أنظمة إملاء اللغة الدارجة في الزمن الحقيقي جعل حجم المفردات لا نهائياً. بمعنى أن المستخدم لم يكن يدري أي الكلمات النادرة نسبياً كانت موجودة في معجم المنظومة وأيها ليست موجودة فيه. كانت الأنظمة تحاول تعرف كلِّ كلمة تُملى عليها وتعدُّ كل كلمة لا تتعرفها خطأً، حتى لو لم تكن الكلمة موجودة في المعجم.

لقد أجبرت وجهة النظر هذه الأنظمة على تعلم الكلمات الجديدة على الطاير! بحيث لا تدع للنظام مجالاً ليرتكب ذات الخطأ كلما صادف تلك الكلمات. وكان من المهم خصوصاً تعلم أسماء الأشخاص والأماكن في أي نص يقوم المستخدم بإملائه. ولقد حدث تطور هام في التقنيات الإحصائية للتعلم من مثال وحيد أو من عدد صغير من الأمثلة. ولقد بدت الإجرائية قدر الإمكان كأنها غير مفصلة للمستخدم المتفاعل مع النظام. ومع هذا فإن المسألة بقيت تحدياً لأن وضع نموذج لكلمة جديدة بعيد جداً عن أن يكون غير ظاهر عندما ينظر إليه من وجهة نظر النماذج، فالنماذج ذات العينات الصغيرة تختلف كثيراً عن نماذج المعطيات الكبيرة.

الأنظمة التكيفية والمستقلة عن المتكلم. بالرغم من مقدرة النماذج الاحتمالية التي يرافقها آلة التعلم الإحصائي على تقديم وسائل لنمذجة وتعليم العديد من موارد التغيير في إشارة الكلام، مازال هناك فجوة ذات شأن في الأداء بين نموذج متكلم وحيد single-speaker ونموذج معتمِدٍ على المتكلم speaker-dependent ونموذج مستقل عن المتكلم

speaker-independent موجَّه لمجموعة متنوعة من البشر. لقد أقحم نظام sphinx للتعرف المستمر لِلكلام مجموعة كبيرة من الألفاظ المستقلة عن المتكلم.[24] واعتمدت على معطيات كلامية واسعة، من عدد كبير من المتكلمين بهدف تدريب نظام يعتمد إجرائية ماركوف الخفية HMM.

لقد طُبِّق التعلم التكيفي للاستجابة لِتغيرات المتكلمين ومجموعة واسعة من الشروط المتغيرة لقناة الاتصال، والضجيج والمجال.[24] ولقد سمحت التقانات التكيفية الفعالة بالتكيف مع التطبيقات، وأسهمت في الانتشار التجاري الواسع للتعرف الآلي لِلكلام.

تقنيات فك الرماز decoding. تجلّى أهم تطور في تمثيل المعرفة من الناحية البنيوية في توحيد التمثيل البياني القابل للبحث والذي يسمح للعديد من موارد المعرفة بالانخراط في إطار عمل احتمالي عام. لقد أجمل (ردي) في ورقة بحثه المنشورة عام 1976 استراتيجيات البحث أو فك الرماز التي استخلصت من العديد من الأنظمة. ومن هذه الاستراتيجيات فك الرماز الكدسي stack decoding وقد رمز له بـ (A* Search) [20]، واستراتيجية البحث الحزمي المتزامن زمنياً [26] time-synchronous beam search واستراتيجية فك الرماز (WFST) [28] لحالات المِجَسَّات المُنتهية المثقَّلة. لقد جعلت خوارزميات فك الرماز هذه التعرف الآلي لِلكلام ممكناً حتى حين يكون الكلام مستمراً إلى حد بعيد.

تشتمل الطرائق غير التركيبية non- compositional على تدفقات الكلام المتعدد multiple speech streams ومنظومات التعرف المتعددة مجتمعة في المستوى الافتراضي من أمثال ROVER [12] ومنظومات التمرير المتعدد multi-pass systems مع زيادة في القيود.

فهم اللغة المنطوقة. ما إن تتوفر نتائج التعرف الآلي لِلكلام، حتى يغدو استخلاص معناه مهماً. يعتمد فهم اللغة المنطوقة SLU بالدرجة الأولى على الحالات القواعدية case grammars لتمثيل مجموعات الدلالات اللفظية وهو ما كان سائداً في السبعينيّات. ولعل نظام استعلامات السفر جواً (ATIS) أوضح مثال على تطبيق الحالات القواعدية على فهم اللغة المنطوقة (SLU)، وقد جاءت هذه المنظومة بمبادرة مدعومة مالياً من DARPA [32,41]، إذ يكفي أن يطرح الشخص تساؤله عن معلومات رحلة الطيران بأي شكل شاء. إن فهم اللغة المنطوقة يقضي باستخلاص حوارات خاصة task-specific في إطار دلالات لفظية تشتمل على إطارات من أمثال «تاريخ المغادرة» و«رحلة الطيران». إن الحيز الضيق slot هنا هو في إطار الحالة محدد الموضوع والمجال. إن إيجاد قيمة الخصائص العائدة لنتائج التعرف الآلي لِلكلام ينبغي أن تكون منيعة robust وذلك بهدف التعامل مع أخطاء التعرف الآلي الملازمة له إضافة إلى مجالات الطرائق المختلفة للتعبير عن المفهوم ذاته.

تستعمل تقنيات عديدة لملء الحيز الضيق العائد لمجال التطبيق وذلك من المعطيات التدريبية. [30,35,41] وكما هو الحال بالنسبة للصوتيات ونمذجة اللغة فإن التعلم المعمق الذي يعتمد على الشبكات العصبونية المتواترة recurrent يمكنه أن يُحسِّن بدرجة عالية مَلءَ الحيز الضيق في فهم اللغة. [38]

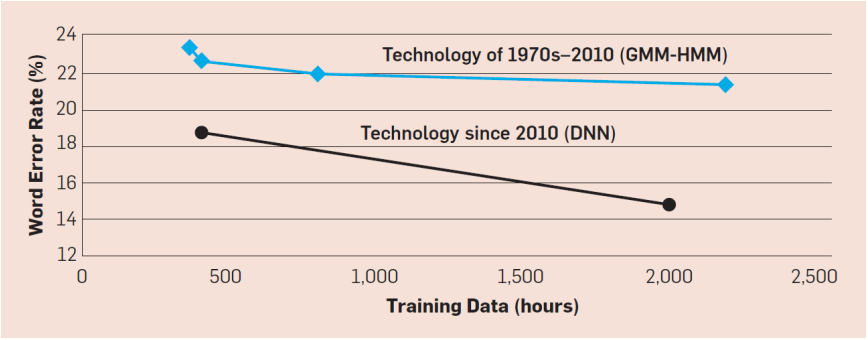
التحديات الأساسية الستة

إن تقانة التعرف الآلي لِلكلام بعيدة جداً عن الكمال، فالتحديات التقنية جمة. وبناء على ما تم إحرازه خلال السنوات الأربعين الماضية سوف نعالج هنا ستة من أهم مجالات التحدي التي ينبغي التغلب عليها حتى يتحقق حلمنا في التعرف الآلي لِلكلام.

لا معطيات أفضل من المزيد منها. لدينا اليوم بعضُ الفرص المثيرة لتجميع أكبر قدر من المعطيات أو لِما يؤدي إلى طوفان المعطيات data deluge. ويعود الشكر في هذا المجال بالدرجة الأولى إلى الشبكة العنكبوتية (الإنترنت). إذ يتوفر على الشبكة فيض من الكلام اليومي الذي يعكس تنوعاً في المادة والبيئة لم يكن متيسراً فيما مضى. وظهر حديثاً على الهواتف المحمولة تطبيق «البحث الكلامي» voice search وهو ما يقدم مصدراً غنياً لمعطيات الكلام. ونظراً لتسجيل استجابة مستخدمي الهواتف المحمولة، فإنه يمكن النظر إلى هذه التسجيلات على أنها «مادة تعريفية» labeled جزئياً. ولقد جمعت كل من Apple Siri (التي تدعمها Nuance) وغوغل وميكروسوفت قدراً هائلاً من معطيات المستخدمين بهدف استعمال أنظمتهم الكلامية على منتجاتهم.

يمكن استعمال أدوات جديدة تعتمد الشبكة العنكبوتية لتجميع قدر كبير من الكلام ومعالجته في العديد من اللغات وبتكلفة زهيدة cost-effective. كما أن ضم إسهامات الأفراد المهتمين إلى الشبكة العنكبوتية يمكن أن يولد قدراً وافراً من المصادر اللغوية مُجْدي التكلفة وبفاعلية. وسيكون ذلك أمراً قيماً بهدف توليد إمكانات جديدة كمصدر للغات الارتجالية.

إن التزايد المطرد في المعطيات يعد أمراً مهماً وتحدياً في الوقت ذاته لتقدم الحالة الراهنة لنشاطات التعرف الآلي لِلكلام كما يتضح من الشكل 3، وقد أعد زميلانا في ميكروسوفت لي دنغ Li Deng وَ إرك هورفتز Eric Horvitz هذه المعطيات بالإفادة من عدد من ورقات البحث بهدف توضيح هذا الأمر. إن الأرقام المذكورة في الشكل 3 ليست دقيقة بالرغم من بذلنا قصارى جهدنا لاستنباط مخطط مترابط من حشد المعطيات المنشورة هنا وهناك على مدى عشر سنوات.



الشكل 3. لا توجد معطيات أفضل من المزيد منها. يظهر واضحاً في الشكل معدل الكلمات الخطأ الذي يُتعرف بدلالة ساعات التدريب. يتضح من هذا الشكل كيف تستفيد المنظومات الحديثة للتعرف الآلي للكلام من المعطيات التدريبية المتزايدة.

لقد استطعنا بِشِقِّ النفْس أن «نخدش السطح» في أخذ عينات من أنواع الكلام والبيئات والقنوات التي يستعملها الناس عادة. وفي الحقيقة زوَّدنا أنظمة التعرف الآلي لِلكلام المتوفرة لدينا بجزء يسير من المواد التي يستعملها الناس لاكتساب اللغة. وإذا أردنا من أنظمتنا أن تدرك طبيعة الكلام ذاته، فإن علينا أن نستفيد من المزيد منها وأن نوفر المزيد من المادة التعريفية. أن التوفير الجيد للمادة التعريفية بأنواعها كان حجر الأساس لتطوير المنظومات الحالية واستنباطها. إلا أن معظم المعطيات تفتقر إلى المادة التعريفية، أو أنها معرفة تعريفاً سيئاً، وإن نقلها إلى مجال المادة التعريفية الدقيقة مكلِّف جدًّا.

البنية التحتية الحاسوبية. إن استعمال وحدات معالجة الرسوم GPU [5,14] أسهم مساهمة فعالة في السنوات الأخيرة، ذلك أنه جعل تدريب الشبكات العميقة ذات الحجم المتوسط ممكناً عملياً. ومن القيود المعروفة لمفهوم وحدات معالجة الرسوم GPU أن تسريع التدريب يكون صغيراً عندما لا يتلاءم نموذج التدريب مع ذواكر GPU (التي هي أقل من ستة غيغا بايت). ولقد ذكر حديثاً أن مفهوم الاستمثال الموزع distributed optimization approach يمكن أن يسرِّع التعلم المعمق كما يمكنه أن يدرب نماذج أكبر.[7] إن حشداً من الآلات الحاسبة الموزعة استُعمل لتدريب الشبكات العصبونية العميقة DNN المتوسطة الحجم للتعرف الآلي لِلكلام وقاد ذلك إلى تسريع العملية عشر مرات بالمقارنة باستعمال الوحدات GPU.

ينظر الباحثون إلى قانون مور Moore's Law على أنه قانون يمكن الاعتماد عليه بشأن ازدياد المقدرة الحاسوبية والتخزين في منظوماتنا الحاسوبية لعدة عقود. وكان تأثير ذلك في الأنظمة المرتبطة بالتعرف الآلي لِلكلام هائلاً، إذ سمح باستعمال المزيد من قواعد المعطيات التدريبية وأنظمة التعرف إضافة إلى أنه سمح بإقحام المزيد من النماذج التفصيلية للغة المنطوقة. ويعتمد العديد من توجهات البحوث المستقبلية وتطبيقاتها على التقدم المتزايد في الإمكانات الحاسوبية، وهو أمر نبرره في ضوء التقدم الذي أحرزناه باستعمال منظومات حاسوبية موزعة بهدف تدريب الشبكات العصبونية العميقة DNN ذات المجال الواسع، وذلك في ضوء تزايد المعطيات التدريبية الموضحة في الشكل 3. ومن المتوقع أن يتطلب تدريب منظومة تعرف آلي لِلكلام حديثةٍ أسابيع أو أشهراً حتى بوجود حشد من الحواسيب الموزعة الضخمة.

لاحظت Intel وغيرها أن كثافة الطاقة في المعالجات الصغرية microprocessors بلغت حداً جعلت معدل تردد الساعة clock rate الأعلى يعرِّض السليكون للذوبان. وبناء على ذلك فقد تركز التطور الصناعي حديثاً على استعمال معالجات صغرية ذات نوى cores متعددة. إن خريطة الطريق الحديثة في صناعة أنصاف النواقل أبرزت هذا المنحى، وسيأتي تسريع العمليات الحاسوبية مستقبلاً من الحساب بالتوازي أكثر من أن يكون من تسريع عناصر الحساب ذاتها.

لقد أهمل مصممو الخوارزميات للأنظمة الكلامية في معظم الحالات تحري تسريع العمليات الحسابية بالتوازي، وذلك في ضوء تنبؤ قانون مور الذي بقي صالحاً. أما توجهات البحوث المستقبلية وتطبيقاتها فتتطلب مصادر حسابية أكبر بكثير لتوليد نماذج، ومن ثَم فإن على الباحثين أن ينظروا في اعتماد الحساب بالتوازي على نطاق واسع في تصاميمهم، وسيؤدي ذلك إلى تغير ملحوظ في الحالة الراهنة. وبوجهٍ خاص فيما يتعلق بفك الرماز الذي طور لتسريع أداء معالج مفرد طرائق ذكية جداً، وهو ما يستدعي إعادة النظر في الخوارزميات بشكل كامل. ولذا فإن طرائق البحث الجديدة التي تسخِّر فكرة الحساب بالتوازي هي بمثابة توجُّه للبحث مُهمّ.

لقد استُعمل **التعلم المفتقر إلى الإشراف unsupervised learning** بنجاح لتدريب شبكة عميقة أكبر بثلاثين مرة مما سبق وأُعلن [7]. إذ استطاع نظام يعتمد الشبكات العصبونية العميقة DNN تحقيقَ أفضل أداء تم التوصل إليه على شبكة الصور بتوليف دقيق مشرف عليه للحصول على العنونة، وهي مهمة صعبة جداً لتعرُّف الأشياء. ثمة حاجة عملية في مجال التعرف الآلي للكلام لتطوير تقنيات، تفتقر إلى الإشراف أو إلى الإشراف الجزئي، عالية الجودة، إضافةً إلى قدر كبير متيسر من المعطيات التفاعلية للمستخدمين من أمثال معطيات النَّقرة click data المتوفرة على محرك البحث الخاص بالشبكة العنكبوتية.

إن نجاح التطور في البحث الكلامي جعل بالإمكان استعمال المعطيات المعنونة جزئياً أو غير المعنونة لتدريب نماذج اللغة والنماذج الصوتية. وبإمكاننا اختيار أجزاء من معطيات غير معنونة لعنونتها يدوياً بطريقة تجعل استعمالها

أعظمياً. إن السبب المهم للتعلم المفتقر إلى الإشراف هو في المنظومات، إذ عليها أن تخضع للتعلم المستمر lifelong learning ولتتلاءم مع الكلمات الناشئة ومع القنوات ومع استعمال اللغة وغير ذلك، شأنها في ذلك شأن خط الأساس base line لدى الإنسان. ثمة حاجة للتعلم في كل المستويات للتعامل مع البيئات والمتحدثين، واللهجات واللفظ والكلمات والمعاني والمواضيع. وكما هو الحال لدى الإنسان فإن على المنظومة أن تكتشف النمط آلياً وأن تتكيف معه وأن يكون تعلمها فعالاً.

ينبغي لنا أن ننظر في تعليم نماذج جديدة، وفي الوقت ذاته في تكامل هذه النماذج مع الأنظمة الحالية. وعليه فإن الأمر المهم في التعلم يكمن في أن نكون قادرين على أن نُميز متى جرى تعلم شيء وفي كيفية تطبيق النتائج. وقد يكون ضرورياً التعلم من النمذجة المتعددة المنسجمة فيما بينها. فقد تواجه على سبيل المثال منظومة تعرف آلي لِلكلام اسماً جديداً يدخل عليها، وقد تحتاج لتفحص سياق الكلام لتحديد تهجئته على نحوٍ صحيح. إن النجاحات التي نحرزها في جهودنا المتعلقة بالتعلم المفتقر إلى الإشراف ذي النماذج المتعددة سيزيد من عمر المنظومات المنتشرة، ويمدنا بالمقدرة على تطوير منظومات كلامية في لغات جديدة، وفي غير ذلك من المجالات دون الحاجة إلى معطيات معنونة بشرياً، وهي معطيات مكلِّفة وشاقة، خاصة إذا وفقنا لتطوير منظومات تتلاءم آلياً تتحسن بمرور الزمن.

الاحتمال وقابلية التعميم. يكمن في التعميم generalization مظهر مهم من مظاهر التعلم. فعندما يكفي قدر ضئيل من معطيات الاختبار لضبط منظومات التعرف الآلي لِلكلام فإننا نسمي ذلك التعميم تكيُّفاً. تسمح إمكانات التكيف والتعميم بتكامل تطبيق التعرف الآلي للكلام سريعاً. وهناك مساعٍ لاستعمال إجرائيات قرار ماركوفية تم ملاحظتها جزئياً لتحسين إدارة الحوار إذا توفرت معطيات تدريب.[42] إن مصادر اللغة كهذه غير متيسرة بسهولة في لغات جديدة عديدة أو في مهام جديدة. وفي الحقيقة، فإن الحصول على قدر كبير من المعطيات التدريبية المنسجمة مع المجال هو أفضل وسيلة يعتمد عليها لتحقيق منظومات التعرف الآلي لِلكلام عملياً.

لقد طور العاملون في مجال التعرف الآلي للكلام خلال العقود الثلاثة الماضية منهجية تجريبية حسَّنت باستمرار من تقانة الكلام. إن المفهوم الذي أثبت نجاحاً قضى بتطوير مجاميع مشتركة shared corpora وأدوات برمجية وإرشادات يمكن استعمالها لتخفيض الفروق بين التجهيزات التجريبية وصولاً إلى الخوارزميات، بحيث يغدو تقدير التحسينات الأساسية قابلاً للتقدير الكمي وبسهولة. تتركز المجاميع المشتركة حالياً على مهمة خاصة. لسوء الحظ، إن النماذج اللغوية الحالية لا يمكن أن تقوم بسهولة بمهام مختلفة إذ تفتقر إلى تعقيدات لغوية كي تستطيع تمييز الجمل ذات المعنى من الجمل التي لا معنى لها. إن بِنية الكلام ليست رصف كلمات بعضها إلى بعض وحسب.

تختلف هذه الاستراتيجية تماماً عن الخبرة البشرية. فنحن نصادف في حياتنا معطيات كلامية من كل الأنواع، من بيئات غير مسيطر عليها ومن متحدثين مختلفين وبمواضيع متنوعة (وهذا هو شأننا اليومي في الكلام). وكلنا قادر على ابتكار نماذج داخلية من الكلام، واللغة قادرة على التكيف والتعامل مع التغير في تسلسل الكلام. إن هذه المقدرة على التعميم تعد مفتاحاً أساسياً لمعالجة الكلام عند البشر وهو ما تفتقر إليه نظم الكلام الحالية. وينبغي أن تنصبَّ نشاطات البحث بهذا الشأن على إنتاج تقانة فعالة في الحالات الجديدة بحيث يمكنها التعميم على نحوٍ أفضل من قَدْرٍ أقل من المعطيات. وثمة مجال آخر للبحث هو في كيفية استخلاص المعلومات من مصادر اللغات أو المجالات الواسعة وتعميمها على موارد لغوية أقل ومجالات أضيق.

يكمن التحدي هنا في ابتكار تقانات لغات منطوقة قابلة للحمل بسرعة. إن الإعداد للتطوير السريع لمنظومات لغوية منطوقة يتطلب نموذجاً جديداً لدراسة الوحدات الصوتية والكلامية ذات صبغة لغوية عالمية أكثر من كونها أصوات لغوية

خاصة. وهنا يشار إلى ثلاث قضايا بحثية ينبغي الاهتمام بها وهي: النمذجة الصوتية المتقاطعة اللغة للكلام، والوحدات الصوتية للغةٍ هدفٍ جديدة؛ والنمذجة المفرداتية للِّسانيات المتقاطعة في كلمات لفظية من أجل لغة جديدة؛ والنمذجة اللغوية للِّسانيات المتقاطعة. إن البحث عن ترابطات بين اللغات الجديدة واللغات المدروسة جيداً يمكِّننا من تسهيل التعميم وتسريع حملها. تُعد تقنيات الدعم الذاتي bootstrapping أساسية ومفتاحية لبناء أنظمة أولية من قدر ضئيل من الكلام المنطوق المعنون، ولاستعمالها لعنونة أمثلة أخرى من كلام منطوق بطريقة تفتقر إلى الإشراف، وتكرار الأمر لتحسين المنظومات حتى تصل إلى مستوًى من الأداء مماثل للمنظومات عالية الدقة المعروفة لدينا.

التعامل مع الارتيابات. يحتاج إطار التعلم الإحصائي المُثبت DNN–HMM إلى قدر كبير من المعطيات للتعامل مع الارتيابات uncertainties. إن التعامل مع عوامل متغيرة عديدة وتَعَرُّفُها هو مفتاح بناء أنظمة تتعرف الكلامَ آلياً. وبالرغم من النجاحات التي تم تحقيقها في العقود الثلاثة الماضية من السنين، فإن منظومات التعرف الآلي للكلام المتوفرة هذه الأيام تنهار حتى عندما تكون الفروق ضئيلة، في حين أن المستمع البشري لا تعتريه إلا صعوبة ضئيلة وقد لا يجد هذه الصعوبة. وتبقى قوة التعرف الآلي للكلام تحدياً بحثياً كبيراً. إننا نأمُل حدوث فتوحات ليس في الخوارزميات وحسب وإنما في استعمال معطيات تدريب تفتقر إلى الإشراف بطرائق لم تكن عملية من قبل.

إن نوعاً سائداً من التغيير في الإشارة الصوتية يتمثل في البيئة الكلامية. وهو يشمل ضجيج الخلفية، وصدى الحجرة، وقناة الاتصال التي تنقل الكلام (خلوية، أو بلوتوث Bluetooth، أو خط أرضي، أو VoIP)، إضافة إلى تراكب الكلام، أو الكلام المفرط الترابط hyperarticulated. إن البيئة الكلامية التي يتم التقاط الكلام فيها، وقناة نقل المحادثة التي يتم بواسطتها، يمثلان أشد التغيرات إيذاءً لأداء نظام التعرف الآلي للكلام. إن التقنيات الموجودة قادرة على تخفيض التغيرات بإضافة ضجيج أو تشوهات خطية كما أنها قادرة على الموازنة مع التغيرات الخطية الضئيلة في القنوات. ومع هذا فإن تشوهات القنوات المعقدة كالترددات reverberations أو الضجيج السريع التغير إضافة إلى السِّمات الغَجَرية Lombard effect تشكل تحدياً كبيراً. ففي حين أن التعلم المعمق يمكِّن فَكَّ الرماز الآلي من إبداع مظاهر أكثر مقدرة، فإننا نتوقع خُروقًا أكثر في تعلم مظاهر أعم فائدة يمكنها محاكاة منظومة السمع عند الإنسان وقد لا تشبهها.

ثمة نوع آخر مألوف من تباين الكلام جرت دراسته على نطاق واسع يعود إلى تنوع مميزات المتكلمين. فمن المعروف جيداً أن مميزات الكلام تختلف اختلافاً كبيراً بين المتحدثين بسبب عدة عوامل، ويشمل ذلك بِنية المتكلم الفيزيولوجية، وأسلوب كلامه ولهجته التي تختلف باختلاف المنطقة التي ترعرع فيها وكونه من غير مواطنيها. والطريقة الأساسية لجعل منظومات التعرف الآلي لِلكلام أكثر قوة تقضي بتضمينها مجالاً واسعاً من المتكلمين (وأساليب محادثة) في مجال التدريب وذلك لمعالجة تغيرات مميزات المتحدثين. إضافة إلى ذلك فإن منظومات التعرف الآلي لِلكلام الحديثة تشتمل على معجم لفظي هو بمثابة نماذج لمتكلمين باللغة محليين، وتتدرب على قدر واف من معطيات الكلام صادر عن مواطنين من أبناء اللغة. ولقد جرى تحري نمذجة كلام ذي لهجة، ويشمل ذلك النمذجة الظاهرة للكلام ذي اللهجة وتكييفه مع نماذج صوتية لأبناء البلد ولكن مع إحراز قليل من النجاح، وهو ما اتضح من الصعوبات الأولية التي تبدَّت لدى نشر منظومة تعرفٍ لِلكلام بريطانية في اسكتلندة. وقد أقحمت تغيرات لفظية في اللهجة ولم نحصل إلا على كسب ضئيل. وبالمثل فقد حصل تقدم ضئيل في كشف تغير المعدل الزمني للكلام.

دعنا نأخذ بحكمة سقراط. تماماً كما جرى مع قدماء اليونانيين، فإن منظومات التعرف الآلي لِلكلام تفتقر إلى

حكمة سقراط. فالتحدي هنا هو في ابتكار منظومات تكتشف بنجاح وبموثوقية عندما لا تُتَعرَّف كلمة (صحيحة). إن مفتاح حدوث خطأ كهذا يكمن في عدم توافق تحليل إشارة إحساس صرفة لم يسبقها معرفة، كما هو شأن تعرف مكالمة هاتفية غير مقيدة، أو كلمة أو عبارة مفترضة معتمدة على معرفة من مستوى أعلى، غالباً ما تكون مرمزة وفق نموذج لغوي. ولعل المكوِّنة المفتاحيَّة لهذا البحث تكمن في إجراءات ثقة مبتكرة وفي نماذج ارتياب دقيقة تعتمد على التباين بين الدليل الحسي والاعتقادات السابقة. إن النتيجة الطبيعية لاكتشاف حوادث كهذه هي أن تسجل صوتياً عندما تكون المنظومة على ثقة من أن افتراضها للكلمة غير موثوق به، وأن تبتكر خططاً لتصحيح الخطأ.

تجد المنظومات الحالية صعوبة في التعامل مع مواد معجمية غير متوقعة– وهكذا شأن معظم المعلومات المعجمية الغنية– وهذه مشكلة خاصة في الكلام الذي يشتمل على صيغ تعجُّب أو كلمات أجنبية أو كلمات غير معجمية وفي لغات لا يتوفر لها إلا القليل من المعطيات نسبياً بحيث لا يسمح هذا القليل ببناء معجم المنظومة لمفرداتها ولفظها._وفي هذه الحالة عادة ما يسوء تعرف تعابير ذات قيمة عالية نتيجة الإفراط في الثقة وكذلك شأن بعض الكلمات الشائعة والكلمات المماثلة صوتياً. ومع هذا فإن أمثال هذه الحوادث المنطوقة تعد مفتاحاً لمهمة كشف التعبير المنطوق واستخلاص المعلومات من الكلام، ولذا فإن كشفها الدقيق يعد ذا أهمية بالغة.

الاستنتاجات

لقد تحقق في العقود الأربعة السابقة من الزمن عدد من الفتوحات في مجال التعرف الآلي للكلام، مما سمح لنا بإنجاز مهام كانت في السابق مستحيلة. ولسوف نلخص هنا ما كسبناه نتيجة البحوث والتقدم الحاصل في المنتجات.

لقد سمحت لنا المقدرة الحاسوبية في عام 1976 بالتعرف الآلي للكلام فيما يتعلق بمهام مقيدة عالية التقييد ذات عوامل تفريعية branching factors منخفضة (أي غير معقدة). وإننا اليوم قادرون على التعامل مع عدد لا نهائي تقريباً من المفردات ذات عوامل تفريعية أكبر. وفي عام 1976 كان أسرع حاسوب متيسر للبحث الروتيني على الكلام الحاسوب PDP-10 بذاكرة لا تتعدى 4MB. أما اليوم فتتوفر منظومات يمكنها استثمار قدرات حاسوبية تزيد بمليون مرة عن سابقتها لتدريب النموذج. بل إن هناك آلاف المعالجات والذواكر الجماعية غير المحدودة وغير الواقعية في قيدِ الاستعمال. إن باستطاعة هذه المنظومات استعمال ملايين الساعات من المعطيات الكلامية التي تَرِدُها من ملايين الناس من كل حدب وصوب. وتتركز مقدرة هذه المنظومات في المقام الأول في مقدرتها على معالجة معطيات ضخمة جداً وتجميعها والتعلم منها.

إن الخوارزميات الأساسية للتعلم ولفك الرماز لم تتغير خلال الأربعين سنة الفائتة. ومع هذا فقد جرت تحسينات عديدة على الخوارزميات من أمثال كيفية استعمال الخوارزميات التوزيعية لمهام التعلم المُعمق. ومما يثير العجب أنه على الرغم من عدم توفر مقدرة حاسوبية وذاكرة كافية في التجهيزات الذكية من أمثال الآيفون iPhone فإننا نرى أن التعرف الآلي للكلام يجري على المخدِّمات البعيدة remote servers بنتائج تغدو جاهزة خلال بضع مئات من الملّي ثانية على الآيفون. وهذا ما يجعل من الصعب التكيف الديناميكي مع المتكلم والبيئة، وهو ما يعد أساسياً لتخفيض المعدل الزمني للخطأ حتى النصف.

يبقى التعامل مع الكلمات غير المعروفة سابقاً مشكلة قائمة بالنسبة لمعظم المنظومات. إن تجميع مفردات كبيرة جداً اعتماداً على ملامح مستندة إلى الشبكات العنكبوتية web-based profiling يجعل المستخدم يكرر استعمال كلمة من

الكلمات المعروفة. تختزن محركات البحث اليوم في الشبكات العنكبوتية خمسمئة مليون دَخْل entries يمكنها أن تزيد من المفردات الأقل عدداً بكثير والخاصة بالتعرف الآلي للكلام. كما يمكن استعمال المخطط الاجتماعي المستعمل لمصلحة محركات البحث على الشبكة العنكبوتية لتقليل مساحة البحث المطلوبة. ثمة نقطة أخيرة ترتبط بالكلام المختلط اللغة حيث تمتزج عبارات من لغتين أو أكثر إذ تغدو مشكلة الكلمة الجديدة أكثر صعوبة [17]. وهذا ما يحدث غالباً في البلدان حيث تمتزج اللغة الإنكليزية باللغة الوطنية.

إن المشكلة المرتبطة باكتشاف الخطأ وتصحيحه تقود إلى خيارات لواجهات interfaces صعبة وُجدت لها حلول جيدة إلى حدّ ما بواسطة منظومة «Dragon Naturally Speaking» والمنظومات اللاحقة. إننا نعتقد أن النماذج المتعددة التفاعلية المجازية ستكون سائدة كما اتضح من توضيحات الهاتف اللوحي MiPad[16]، وكما اتضح من خدمات مشابهة لـ Apple Siri. ومازلنا نفتقر إلى حوار توضيحي شبيه بالإنسان بشأن الكلمات الجديدة غير المعروفة لدى المنظومة.

ثمة مشكلة أخرى ترتبط بتعرُّف الكلمات المربكة جداً. تحتاج منظومات كهذه إلى استعمال تعلم تمييزي ذي مقدرة عالية. إن تعلم المعطيات المتفرقة الديناميكية الذي يقدر عليه الإنسان لا وجود له في معظم المنظومات التي تعتمد على تقنيات إحصائية ذات معطيات كبيرة.

سَيَمُرّ التعرف الآلي للكلام في السنوات الأربعين القادمة على اختبار حاسم. ولسوف تبرز عندها رؤية شبيهة بالهاتف المحمول Star Trek وتصبح حقيقة. ونتوقع أن يتمكن التعرف الآلي للكلام من ردم الفجوة بيننا وبين الآلة، وسيغدو أداة ذات مقدرة عالية للكلام العامي بين الناس بقطع النظر عن العوائق اللغوية والمكانية، وهو ما فعلته قصة مجلة New York Times[6] التي أوضحتها في ترجمة الكلام من الإنكليزية إلى الصينية التي قام بها رك راشد Rick Rashid[7].

المَراجع

[1] Bahl, L. et al. Maximum mutual information estimation of HMM parameters. In *Proceedings of ICASSP* (1986), 49–52.

[2] Baker, J. Stochastic modeling for ASR. *Speech Recognition.* D.R. Reddy, ed. Academic Press, 1975.

[3] Baum, L. Statistical Estimation for Probabilistic Functions of a Markov Process. *Inequalities* III, (1972), 1–8.

[4] Chen, X., et al. Pipelined back-propagation for context dependent deep neural networks. In *Proceedings of Interspeech*, 2012.

[5] Dahl, G., et al. Context-dependent pre-trained deep neural networks for LVSR. In *IEEE Trans. ASLP 20*, 1 (2012), 30–42.

[6] Davis, S. et al. Comparison of parametric representations. *IEEE Trans ASSP 28*, 4 (1980), 357–366.

[7] Dean, J. et al. Large scale distributed deep networks. In *Proceedings of NIPS* (Lake Tahoe, NV, 2012).

[8] Dempster, et al. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. *JRSS 39*, 1 (1977), 1–38.

[9] De Mori, R. Spoken Dialogue with Computers. Academic Press, 1998.

[6] http://nyti.ms/190won1.

[7] https://www.youtube.com/watch?v=Nu-nlQqFCKg.

[10] Deng, L. and Huang, X. (2004). Challenges in adopting speech recognition. *Commun. ACM 47*, 1 (Jan. 2004), 69–75.

[11] Deng, L. et al. Binary coding of speech spectrograms using a deep auto-encoder. In *Proceedings of Interspeech*, 2010.

[12] Fiscus, J. Recognizer output voting error reduction (ROVER). In *Proceedings of IEEE ASRU Workshop* (1997), 347–354.

[13] He, X., et al. Discriminative learning in sequential pattern recognition. *IEEE Signal Processing 25*, 5 (2008), 14–36.

[14] Hinton, G., et al. Deep neural networks for acoustic modeling in SR. *IEEE Signal Processing 29*, 11 (2012).

[15] Huang, X., Acero, A., and Hon, H. *Spoken Language Processing.* Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001.

[16] Huang, X. et al. MiPad: A multimodal interaction prototype. In *Proceedings of ICASSP* (Salt Lake City, UT, 2001).

[17] Huang, J. et al. Cross-language knowledge transfer using multilingual DNN. In *Proceedings of ICASSP* (2013), 7304–7308.

[18] Hwang, M., and Huang, X. Shared-distribution HMMs for speech. *IEEE Trans S&AP 1*, 4 (1993), 414–420.

[19] Jelinek, F. *Statistical Methods for Speech Recognition.* MIT Press, Cambridge, MA, 1997.

[20] Jelinek, F. Continuous speech recognition by statistical methods. In *Proceedings of the IEEE 64*, 4 (1976), 532–557.

[21] Katagiri, S. et al. Pattern recognition using a family of design algorithms based upon the generalized probabilistic descent method. In *Proceedings of the IEEE 86*, 11 (1998), 2345–2373.

[22] Kingsbury, B. et al. Scalable minimum Bayes risk training of deep neural network acoustic models. In *Proceedings of Interspeech* 2012.

[23] Klatt, D.H. Review of the ARPA speech understanding project. *JASA 62*, 6 (1977), 1345–1366.

[24] Lee, C. and Huo, Q. On adaptive decision rules and decision parameters adaption for ASR. In *Proceedings of the IEEE 88*, 8 (2000), 1241–1269.

[25] Lee, K. *ASR: The Development of the Sphinx Recognition System.* Springer-Verlag, 1988.

[26] Lowerre, B. The Harpy Speech Recognition System. Ph.D. Thesis (1976). Carnegie Mellon University.

[27] Mikolov, T. et al. Extensions of recurrent neural network language model. In *Proceedings of ICASSP* (2011), 5528–5531.

[28] Mohri, M. et al. Weighted finite state transducers in speech recognition. *Computer Speech & Language 16* (2002), 69–88.

[29] Morgan, N. et al. Continuous speech recognition using mulitlayer perceptions with Hidden Markov Models. In *Proceedings of ICASSP* (1990).

[30] Pieraccini R. et al. A speech understanding system based on statistical representation. In *Proceedings of ICASSP* (1992), 193–196.

[31] Potter, R., Kopp, G. and Green, H. *Visible Speech.* Van Nostrand, New York, NY, 1947.

[32] Price, P. Evaluation of spoken language systems: The ATIS domain. In *Proceedings of the DARPA Workshop*, (Hidden Valley, PA, 1990).

[33] Rabiner L. and Juang, B. *Fundamentals of Speech Recognition.* Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

[34] Reddy, R. Speech recognition by machine: A review. In *Proceedings of the IEEE 64*, 4 (1976), 501–531; http://www.rr.cs.cmu.edu/sr.pdf.

[35] Seneff S. Tina: A NL system for spoken language application. *Computational Linguistics 18*, 1 (1992), 61–86.

[36] Tur, G., and De Mori, R. *SLU: Systems for Extracting Semantic Information from Speech.* Wiley, U.K., 2011.

[37] Yan, Z., Huo, Q., and Xu, J. A scalable approach to using DNN-derived features in GMM-HMM based acoustic modeling for LVCSR. In *Proceedings of Interspeech* (2013).

[38] Yao, K. et al. Recurrent neural networks for language understanding. In *Proceedings of Interspeech* (2013), 104–108.

[39] Yu, D. et al. Feature learning in DNN—Studies on speech recognition tasks. *ICLR* (2013).

[40] Waibel, A. Phone recognition using time-delay neural networks. *IEEE Trans. on ASSP 37*, 3 (1989), 328–339.

[41] Ward, W. et al. Recent improvements in the CMU SUS. In *Proceedings of ARPA Human Language Technology* (1994), 213–216.

[42] Williams, J. and Young, S. Partially observable Markov decision processes for spoken dialog systems. *Computer Speech and Language 21*, 2 (2007), 393–422.

[43] Zue, V. The use of speech knowledge in speech recognition. In *Proceedings of the IEEE 73*, 11 (1985), 1602–1615.

المؤلفون

Xuedorg Huang مهندس متميز في شركة ميكروسوفت بمدينة ريموند بولاية واشنطن (WA) وفيها أسس مجموعة تقانة الكلام عام 1993. عمل سابقاً مدرساً في جامعة كارنيجي ميلون Carnegie Millon University.

James Baker مؤسس مشارك لمنظومات دراغون Dragon Systems بمدينة نيوتن بولاية مساشوستس (MA) حصل على شهادة الدكتوراه من جامعة كارنيجي ميلون.

Raj Reddy أستاذ علوم الحاسوب والربوطية في جامعة كارنيجي ميلون في بتسبورغ بولاية بنسلفانيا (PA) وقد التحق بجامعة كارنيجي ميلونCMU عام 1969.

وعي المجموعة في هندسة البرمجيات العالمية

GROUP AWARENESS IN GLOBAL SOFTWARE ENGINEERING*

Filippo Lanubile, Fabio Calefato, Christof Ebert
ترجمة: م. نجوى الخباز
مراجعة: د. رضوان قسطنطين

في غالب الأحيان، يطرح التعاونُ غير الكافي في فريق العمل تحدياً في مشاريع هندسة البرمجيات العالمية. يمكن أن يحسّن وعيُ المجموعة ثقةَ فرق العمل، وعلاقاتها، وكفاءتها. في هذا المقال، أستقصي أنا وفيليبو لانوبيل، وفابيو كاليفاتو، التقانات والأدوات الرئيسية التي تدعم الوعي والتعاون في المجموعة. الرؤى المتعلقة بالتقانات مُستمدّة من المناقشات والعروض التقديمية في المؤتمرات ذات العلاقة، ومنها ذلك المؤتمر الدولي برعاية IEEE حول هندسة البرمجيات العالمية ICGSE (International Conference on Global Software Engineering). وأنا أتطلّع إلى سماع آراء كلٍ من القراء وكتّاب الأعمدة المحتملين حول هذا المقال وحول التقانات التي ترغبون أن تعرفوا المزيد عنها. – كريستوف إيبرت

يعمل "بوب" و "أليس" في فريق موزّعٍ يطوّر تطبيقاً نقّالاً. في حين أن بوب يحبّ في كثير من الأحيان التدقيق في تغييرات رمازه فيضمن بذلك تنامي وظيفة الرماز، تحاول أليس رؤية الصورة الكبيرة لقابلية الاستعمال usability وترغب أن تنجّز أولاً معالجة متَّسقة للوظائف جميعها. تشعر أليس بالإحباط في العمل مع بوب، إذ يبدو لها أنه غير مهتمّ بالأداء العامّ – لا يردّ بوب على التعليقات التي تضيفها. من الناحية الأخرى، بوب لا يرى أي تقدّم من جانبها ويرى سيلَ التعليقات التي تخلو من مقترحات تغيير ملموسة، على أنها تبطئ أسلوب عمل فريقهم الرشيق agile. ما الذي يحدث؟ لكل منهما أسلوب عمل مختلف ولا يحاول أيّ منهما التكيّف مع الآخر. إنهما غير مدركين لقوة كلٍّ منهما وسلوكهما، وحاجات التواصل بينهما. وأسوأ من ذلك، أنهما غير مدركين للتوتّرات المتزايدة بينهما، وهذا ما يعرّض المشروع للخطر، مع أن كلاً منهما يحاول منفرداً إنجاح المشروع.

لقد حاز وعي المجموعة اهتماماً كبيراً أخيراً في المشاريع الموزّعة وفي هندسة البرمجيات العالمية (global GSE software engineering). وقد وجدنا خلال بحثنا في GSE، أن أكثر من نصف المشاريع الموزّعة تفشل، وسبب ذلك في أغلب الأحيان عدم كفاية التواصل والثقة[1]. إن الوعي ضروري لتنسيق نشاطات المجموعة وضمان أنّ تكون المساهماتُ

* نشر هذا البحث في مجلة IEEE Software، عدد آذار–نيسان (مارس–أبريل) 2013.

الفردية وثيقة الصلة بالمجموعة ككل. وصف بول دوريش وفيكتوريا بيلوتي وعيَ المجموعة بأنه: "فهمٌ لنشاطات الآخرين، يزوّد بسياقٍ للنشاط الخاص بك"[2]. يوجد أربعة أنواع من وعي المجموعة [3] هي:

- الوعي اللارسمي informal awareness، ويُدعى أيضاً وعي الحضور، يزوّد بمعلومات عمَّنْ هم حولنا وعن متاحيتهم بواسطة أدوات التراسل الفوري IM (Instant Messaging) والتواصل الصوتي بالإنترنت VoIP (Voice Over Internet Protocol)؛
- وعي بِنية المجموعة group-structural، يزوّد بمعرفة حول أدوار أعضاء الفريق والبِنى الداخلية للفرق؛
- وعي فضاء العمل workspace، يزوّد بمعلومات عن تفاعلات أعضاء الفريق مع الأمور الصنعية المشتركة ضمن فضاء عملٍ؛
- الوعي الاجتماعي social، يشير إلى المعلومات التي يحتفظ بها أعضاء الفريق عن الأعضاء الآخرين في سياق تحادثي، وإلى الفهم الذي لديهم حول الصلات الاجتماعية ضمن مجموعةٍ.

من الواضح، أنه ليس ثمة تقانة يمكنها أن تتغلّب بنحوٍ مُعْجزٍ على التحديات الثقافية وسوء الإدارة. ومع ذلك، فإن وعياً أفضل لما يجري في المجموعة واستعمالاً أفضل للتقانات المتاحة يمكن أن يساعد المديرين وفرقهم على تخفيف التحديات في المشاريع الموزّعة.

دعم وعي المجموعة في منصات إدارة دورة حياة التطبيق

إن إدارة دورة حياة تطبيق ALM (Application Life-cycle Management) هي إجرائية مستمرة لإدارة دورة حياة تطبيقٍ بواسطة منصات تزوّد بفضاء عمل للمشروع، مع مجموعة أدوات متكاملة تشمل جميع نشاطات تطوير البرمجيات، يتضمن ذلك إدارة المتطلبات، والتصميم، وكتابة الرماز، والاختبار، والتتبع، وإدارة الإصدار[1].

يلخّص الجدول 1 كيف تدعم منصاتُ ALM الأكثر رواجاً، الأنواعَ الأربعة لوعي المجموعة. إن جميع المنصات المذكورة هي تطبيقات وِب أصيلة native Web Applications (ماعدا IBM Jazz و Microsoft Team Foundation Server، مع أنهما يأتيان أيضاً مع بيئات تطوير سطح مكتب متكاملة وغنية).

Trac

Trac هي منصة ALM تتخذ مقاربة بحدها الأدنى لإدارة دورة حياة المشروع. إنها تجمع بين wiki متكاملة، ونظام تتبّع مسألة، وواجهة طرف أمامي لنظام إدارة رماز مصدري للإصدار الفرعي subversion، مع برمجيات قابلة للقبس (مقبسية) plug-ins تزوّد بميْزات أخرى. ومن خلال رسائل البريد الإلكتروني والتزويد بمقتطفات الأخبار RSS feeds (Rich Site Summary)، يُبرِز وعيُ المجموعة دعمَ وعي فضاء العمل بواسطة التزويد بالإشعارات (notifications) عن أحداث المشروع وتغييراته. وفيما يتعلق بوعي بنية المجموعة، ومُماشاةً لفلسفة المقاربة بحدها الأدنى، يسمح Trac فقط لمديري المشروع بإدارة امتيازات المطوّرين لعرض الأمور الصنعية وإنشائها وتعديلها وحذفها. وفيما نعلم، لا مركبات برمجية مقبسية متوفرة حالياً لإضافة الوعي اللارسمي أو الاجتماعي إلى البيئة. (للمزيد حول دعم الوعي الاجتماعي، انظر الشريط الجانبي "SocialTFS".)

الجدول 1. وعي المجموعة في منصات إدارة دورة حياة التطبيق.

	الوعي اللارسمي	وعي بنية المجموعة	وعي فضاء العمل	الوعي الاجتماعي
Trac URL: http://trac.edgewall.org الرخصة: BSD (مفتوح المصدر) الخدمة: مملوكة الزبون: وب قابلية القَبْس: طرف المخدم		موجود	موجود (email, RSS)	
Google Code URL: http://code.google.com الرخصة: مجانية الاستعمال الخدمة: مُستضافة الزبون: وب قابلية القَبْس: غير موجودة		موجود	موجود (email, RSS)	
Assembla URL: www.assembla.com الرخصة: تجارية الخدمة: مُستضافة الزبون: وب قابلية القَبْس: غير موجودة	موجود (XMPP)	موجود	موجود (email, RSS, Twitter)	
Jazz URL: http://jazz.net/projects/rational-team-concert الرخصة: تجارية (مجانية حتى 10 أعضاء) الخدمة: مملوكة الزبون: وب، Rational Team Concert قابلية القَبْس: طرف المخدّم، طرف الزبون	موجود (XMPP, Skype)	موجود	موجود (email, RSS)	موجود جزئياً (IBM Connections)
TFS URL: http://microsoft.com/visualstudio/alm الرخصة: تجارية (مجانية حتى 5 أعضاء) الخدمة: مملوكة الزبون: وب، Visual Studio قابلية القَبْس: طرف الزبون	موجود (SIP/SIMPLE, Skype)	موجود	موجود (email, RSS	
CodePlex URL: www.codeplex.com الرخصة: مجانية الاستعمال الخدمة: مُستضافة الزبون: وب، Visual Studio قابلية القَبْس: غير موجودة		موجود	موجود (email, RSS	
GitHub URL: http://gituhub.com الرخصة: مجانية الاستعمال الخدمة: مُستضافة الزبون: وب قابلية القَبْس: غير موجودة		موجود	موجود (email, RSS)	موجود جزئياً (@mentions)

Google Code

تقدم Google Code خدمةَ استضافةِ المشاريع مشابهةً للمنصة Trac. لكن Google Code خلافاً لـ Trac، هي خدمة مُستضافة ولذلك لا يمكن توسعتها بواسطة برمجيات مقبسية. إنها تدعم كلًّا من وعي فضاء العمل عن طريق البريد الإلكتروني وإشعارات RSS، ووعي بنية المجموعة عن طريق إدارة السماحيات permissions لتحرير الأمور الصنعية. لا تدعم Google Code الوعيَ الاجتماعي أو اللارسمي.

Assembla

Assembla هي منصة ALM باعتماد الوِب، تستضيف كلًّا من البرمجيات المفتوحة المصدر والبرمجيات التجارية. تتفوق Assembla على البيئات الأخرى باعتماد الوِب، في بضعة سمات بارزة. أولاً، فيما يتعلق بوعي بنية المجموعة، تدعم Assembla فِرَقاً تعتمد إجرائيات التطوير الرشيقة لتنفيذ اجتماعات منتظمة من نوع سكروم Scrum. أضف إلى ذلك، تزوّد لإدارة الفريق بميْزة أكثر تطوّراً، تتيح لمديري المشروع تعريف الفرق والأدوار. ثانياً، بخصوص وعي فضاء العمل، فإن إشعارات التغييرات ضمن فضاء عملٍ، متاحةٌ عن طريق Twitter، إضافةً إلى البريد الإلكتروني والتزويد بمقتطفات الأخبار RSS. ثالثاً، تدعم Assembla الاتصال المتزامن عن طريق التراسل الفوري بواسطة بروتوكول التراسل والحضور القابل للتوسيع XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol). لكن، Assembla لا تدعم الوعي الاجتماعي.

Jazz

طورت IBM Rational المنصةَ Jazz كمنصة قابلة للتوسعة وهي جزء من مجموعة أدوات تطوير تُدعى ALM التعاونية. للمنصة Jazz زبونان: أحدهما هو تطبيق وِب لمهام إدارة المشروع والآخر هو تطبيق سطح مكتب كامل السمات يُدعى RTC (تناغم الفريق العقلاني Rational Team Concert) مبنيّ على المنصة RCP (Eclipse Rich Client Platform)

SocialTFS (مخدم إنشاء الفرق الاجتماعي)

إمّا أن منصات إدارة دورة حياة التطبيق (ALM) تفتقر إلى دعم الوعي الاجتماعي بالمجمل، أو أنها تزوّد بدعم غير كافٍ للأشكال الأخرى لوعي المجموعة كما في حالة Jazz و GitHub. لِمَلْء هذه الفجوة، موّلت أخيراً هندسةُ برمجيات بحوث مايكروسوفت تطويرَ إضافة مجتمع community add-on لمجموعة برمجيات Visual Studio يُدعى SocialTFS (مخدم إنشاء الفرق Team Foundation Server)، في إطار جائزة مؤسسة مايكروسوفت للإبداع. يجمّع SocialTFS محتوى أعضاء الفريق من الشبكات الاجتماعية الرائجة مثل Facebook و LinkedIn و Twitter، إلى فضاء عمل المطوّر. إنه لا يتطلّب أيّ فعل ملاحقة صريح لأن المتابِعين يُضافون ويُحذَفون آلياً، اعتماداً على الآتي: أيُّ بنود العمل وأيُّ المصنوعات هي في طور التغيير[1].

المرجع

[1] F. Calefato and F. Lanubile, "Augmenting Social Awareness in a Collaborative Development Environment," 5th Int'l Workshop Cooperative and Human Aspects of Software Eng. (CHASE 12), IEEE, 2012, pp. 12–14.

ومُوجّه نحو المطوّرين. أما ما يخصّ دعم وعي المجموعة، فتزوّد Jazz بوعي فضاء العمل من طريق الإشعار بالبريد الإلكتروني وقارئ RSS المبنيين أصلاً في RTC. إضافة إلى ذلك، تزوّد Jazz بالسمات الأكثر كمالاً من بين البيئات المُراجَعة، لإدارة الإجرائية والفريق لدعم وعي بنية المجموعة. إنها تدعم أيضاً الوعي اللارسمي بواسطة التكامل مع شبكات التراسل الفوري لـ Lotus Sametime، و Google Talk، و Skype. وأخيراً، تزوّد Jazz بدعم جزئي للوعي الاجتماعي، وذلك بفضل تكاملها مع مجموعة اتصالات IBM، لأنها تنشئ مجتمع مشروع يُضاف إليه كلّ أعضاء المشروع حالما ينضمّون إلى المشروع.

لكن، هناك خطر الحمل الزائد للمعلومات لأن دفقات streams نشاط أعضاء الفريق لا تقتصر على شبكة الوعي، أي مجموعة الزملاء الذين يراقب المرء أعمالهم والذين تُعرض عليهم أعماله[4]. إن شبكة الوعي هذه ديناميكية جداً لأن مجموعة الزملاء تتغير باستمرار مع الوقت اعتماداً على إسنادات المهام أو على مراحل تطوير البرمجيات.

مخدم إنشاء الفريق

مخدم إنشاء الفريق Team Foundation Server (TFS) هو منصة ALM من مايكروسوفت. خصائص وسمات هذه المنصة تشبه خصائص وسمات المنصة Jazz من IBM؛ في الحقيقة، كلتاهما تأتيان مع زبون وِب خفيف لمهام الإدارة وزبون سطح مكتب غني لمزيد من المهام الموجهة نحو التطوير.

يُدعى سطح المكتب هذا مستكشف الفريق Team Explorer وهو توسعة لبيئة تطوير Visual Studio المتكاملة. تزوّد TFS بمستويات دعم تشبه Jazz من حيث الوعي ببنية المجموعة ووعي فضاء العمل. إنها تدعم الوعي اللارسمي أيضاً، بفضل برمجيات مقبسية لمساهمة المجتمع تمكّن الاتصال مع شبكات Microsoft Messenger، Lync، و Skype. تفتقر TFS إلى أيّ دعم للوعي الاجتماعي.

CodePlex

المنصة CodePlex هي تثبيت TFS عمومي حَسَب الطلب تزوّد به مايكروسوفت لاستضافة المشاريع المفتوحة المصدر. إنها تشبه غيرها من منصات ALM الأخرى المعتمدة على الوِب، وتدعم كلاً من وعي فضاء العمل ووعي بنية المجموعة، لكنها لا تدعم الوعي الاجتماعي واللارسميّ. السمة الوحيدة المميّزة لـ CodePlex مُقارنةً بالمنصات الأخرى المعتمدة على الوِب، هي قدرتها على الاتصال مع Visual Studio.

GitHub

GitHub هي منصة بُنيت على Git كنظام إدارة لمشاريع كلٍ من البرمجيات المفتوحة المصدر والبرمجيات التجارية. على غرار منصات ALM الأخرى المعتمدة على الوِب، تقدّم GitHub وعي فضاء عمل ووعي بنية مجموعة خفيفين. تهدّف GitHub، التي تصف نفسها بأنها "شبكة اجتماعية للمبرمجين،" إلى تعزيز تعاون المطوّرين بواسطة السماح لهم بتفريع المشاريع ومراقبة التطوير، وذلك بمقاربةٍ تشبه Twitter، وبمنحهم الفرصة لمتابعة (مراقبة) المشاريع. وأخيراً، تدعم GitHub جزئياً الوعي الاجتماعي بالسماح للمطوّرين بالتفاعل مع الآخرين (عن طريق " إشارات @mention").

الوعي الاجتماعي وفرق البرمجيات العالمية

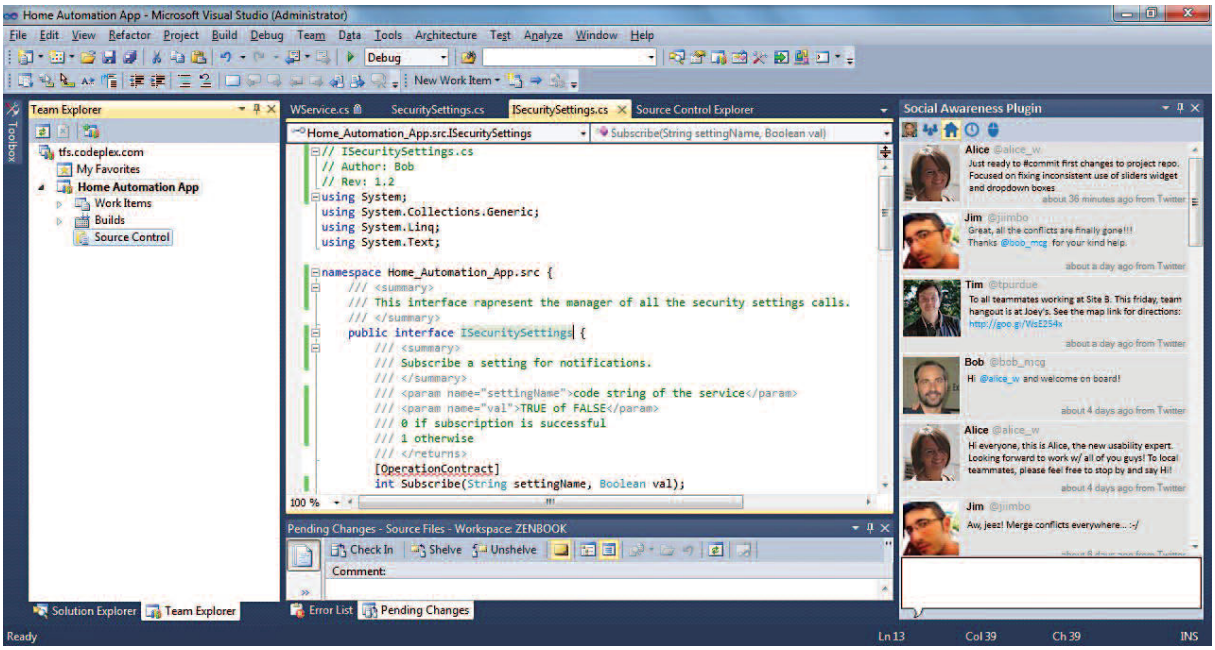
يمكن أن يكون الوعي الاجتماعي مفيداً جداً لفرق البرمجيات العالمية إذا كان لديهم أدوات تطوير تعاونية تدعم تشارك المعلومات الشخصية والسياقية لزيادة احتمال التفاعلات الناجحة في المشاريع العالمية. يتواصل أعضاء الفريق، نموذجياً، من طريق التفاعل القريب والاتصال وجهاً لوجه؛ ينخفض مثل هذا النشاط إلى حد بعيد في الفرق العالمية بسبب بعد المسافة. ولذلك، يمكن تحقيق أدوات التطوير التعاونية كبرمجيات مقبسية لمنصات ALM قابلة للتوسعة، مثل TFS و Jazz، لتزويد الفرق العالمية ببيئات "مزيدة اجتماعياً" تسهّل في الوقت نفسه كلاً من النشاطات المتعلقة بالتطوير والتواصلات الشخصية مع الزملاء البعيدين.

قلة وعي المجموعة: مشهد هندسة برمجيات عالمية GSE نموذجي

تأمّل مشهد GSE التالي النموذجي الذي يواجه فيه أعضاء فريق برمجيات عالمية تحدياتٍ بسبب قلة الوعي الاجتماعي: بوب عضو في فريق يطوّر تطبيقاً نقّالاً لمشروع أتمتة منزل. وهو يتولى أيضاً مسؤولية تطوير مكوّن التطبيق الذي يعالج إعدادات نظام أمن المنزل. يستعمل الفريقُ الموزّع منصةَ ALM لتنسيق تطوير المشروع. بعد مراجعة الإصدار التزايدي الأول للتطبيق، أثار الزبون بعض المخاوف حول قابلية استعمال usability الحلّ الحالي– على سبيل المثال، فيما يتعلق بواجهة المستعمل. ومن ثمّ، يقرّر مدير المشروع، تيم، إشراك أليس، وهي إحدى خبراء الاستعمال في الشركة؛ ويُسنِد إليها كلّ بنود العمل المتعلقة بقضايا الاستعمال، ويتضمن ذلك البنود التي يتولاها حالياً بوب. يتطلّب تيم أيضاً أنّ تُصدِّق أليس على جميع التثبيتات والتغييرات المطبقة على واجهة المستعمل.

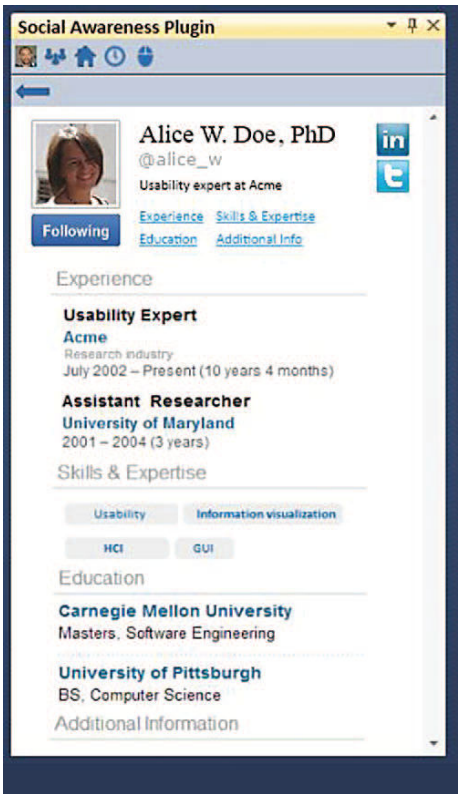
من دون دعم الوعي الاجتماعي. مع اقتراب الموعد النهائي لتكامل المَعْلَم، ينفذ بوب تحديثاً لخازنته المحليّة. يلاحظ أنّ أليس ثبّتتْ بعض مجموعات التغيير لحلّ بنود العمل التي أُسندت إليه سابقاً. وبالتمحيص في التعليقات في مجموعات التغيير، يلاحظ بوب أنّها كثيراً ما أشارت إلى أنّ الإصدارات السابقة استعملت القطع المنزلقة slider widgets والصناديق المنسدلة drop-down boxes استعمالاً غير متّسق. ينظر بوب إلى بعض مشاهد واجهة المستعمل التي عدّلتها أليس فلا يرى اختلافاً كبيراً مُقارنةً بالمشاهد التي أنشأها في المقام الأول. ومن ثم، يقرّر ترك المشاهد الجديدة التي كان قد كتب رمازها دون تغيير ويثبّت ذلك. وبهذا السلوك، يواجه أليس وبوب الآن التوتّرات نفسها كما كانت سائدة قبل عقدٍ من الزمن، عندما كانت تُستعمل تقانات سريعة بنحوٍ غائيّ ad hoc دون الوعي بمحاكمة reasoning أعضاء الفريق الآخرين.

مع دعم الوعي الاجتماعي. تُحدّث البرمجيةُ المقبسية للوعي الاجتماعي المثبّتة في منصة ALM، بانتظام شبكاتِ وعي المطوّرين لدمج منشورات posts الأشخاص الذين يشاركون في بنود العمل نفسها (على سبيل المثال، أولئك الذين قدموا تقريراً أو علّقوا على القضية نفسها). وهكذا، تبدأ منشورات أليس بالظهور في فضاء عمل بوب (انظر الشكل 1). وفيما عدا Twitter، ربطت أليس حساب LinkedIn الخاص بها إلى البرمجية المقبسية، وبذلك يستطيع بوب أن يرى أيضاً من مَلمَح profile أليس أنها معروفة جداً في مجتمع التفاعل بين الحاسوب والإنسان (انظر الشكل 2).



الشكل 1. TFS و Visual Studio معزّزان ببرمجيات وعي اجتماعي مقبسية.

عندما غرّد أليس بأنّها سعيدة للفرصة التي حظيت بها في العمل مع الفريق على المنصة النقّالة الجديدة؛ يقرّر بوب الإجابة على تغريدتها بالرسالة "مرحباً بك معنا". ومع مزيد من التواصل بينهما، يكتشف بوب من منشورات أليس أنّها كانت مشغولة بإصلاح مشاهد واجهة المستعمل التي كتب بوب رمازها. عندما يحدّث بوب خازنته المحليّة، يلاحظ أنّ أليس ثبّتتْ بعض مجموعات التغيير لحلّ بنود العمل التي أُسندت إليه سابقاً. وبالتمحيص في التعليقات في مجموعات التغيير، يلاحظ بوب أنّها كثيراً ما أشارت إلى أنّ الإصدارات السابقة استعملت قطعاً منزلقة وصناديق منسدلة استعمالاً غير متّسق. ولذلك، عندما ينظر بوب إلى بعض مشاهد واجهة المستعمل التي عدّلتها أليس، يدرك أنّها على حقّ وأنّها تستحق شهرتها كخبيرة في الاستعمال بجدارة. ومن ثم، يقرّر أيضاً أن يطبّق الحلّ نفسه على المشاهد الجديدة قبل تثبيتها. تُراجع أليس بعدئذ مجموعة التغيير التي ثبّتها بوب وتُصدِّق عليها.



الشكل 2. لاحة مستعمل مع خدمات مرتبطة وتعليم وخبرة ذات صلة بالعمل.

يحتاج المطوّرون في الفرق الموزّعة إلى الحفاظ على كلٍ من الوعي العامّ بفرقهم ككلّ ومعرفةٍ أكثر تفصيلاً بالناس الذين يعملون معهم. فيما يلي بضعة إرشادات لوعيٍ أفضل للمجموعة:

- **الوعي اللارسمي.** دقّق النظر بانتظام فيمَن هم حولك وتواصل معهم مباشرة. استعمل أدوات التراسل الفوري و VoIP لحلّ المسائل الآنية؛ لا تعتمد على تقديم التعليقات عن طريق أداة تغييرٍ أو بريد إلكتروني.
- **وعي بنية المجموعة.** احرص على ضمان فهم واضح عن أدوار أعضاء الفريق والبنى الداخلية للفرق. استعمل مصفوفات المسؤولية لتصوّر مسؤوليات الفريق وملاحقة الالتزامات. تجنّب الإسنادات الغائيّة لمجرد الرغبة في إنجاز العمل بسرعة، فذلك يُحبط أولئك الذين يتّبعون الإجرائية.
- **وعي فضاء العمل.** وضِّح مَنْ يعمل في أيٍّ من المصنوعات المشتركة (shared artifacts) ضمن فضاء عملٍ. استعمل إجرائيات تشبه سكروم Scrum-like للحصول على قابلية رؤية للمهام والواجهات الحالية.
- **الوعي الاجتماعي.** حفّز الارتباطات الاجتماعية ضمن المجموعة – هذه ليست مسؤولية المدير فقط. يمكنك كعضوٍ في المجموعة أن تفعل الكثير للتواصل والتعاون على المستويات الشخصية. يمكن أن تكون العلاقات الاجتماعية مفيدة جداً، وإن كانت تحدث عن بعد فقط.

مؤتمر IEEE الدولي لهندسة البرمجيات العالمية

يجمع مؤتمرُ IEEE الدولي السنوي لهندسة البرمجيات العالمية (ICGSE) الصناعةَ والبحثَ من جميع أرجاء العالم، ويزوّد بالمنتدى الرائد لمعالجة مواضيعَ مثل كيف نجعل الفرق المُوزّعة أشدَّ فعالية وكفاءة وكيف نتغلب على التحديات الناشئة عن مثل هذه الفرق المُوزّعة، من حيث الطرائق والأدوات المختلفة. ضمَّ مؤتمر 2012 مشاركاً من أكثر من 20 بلداً وثلث أوراقه كانت من الصناعة.

عقد المؤتمر الدولي لهندسة البرمجيات العالمية 2013 في 26–29 أغسطس/آب في باري، إيطاليا. بالانضمام إلى المؤتمر تكتشف كيف تتغلّب على التحديات في المشاريع الموزّعة للبرمجيات. لمزيد من المعلومات، زُر الموقع www.icgse.org.

كما يبين الجدول 1، ما تزال منصات ALM تفتقر إلى الدعم الضروري للوعي الاجتماعي. تُبطل المنصة ALM المزيدة اجتماعياً مثل هذه التحديات عن طريق تسهيل الاتصالات بين الأشخاص وتقوية الروابط بين الزملاء البعيدين– على سبيل المثال، عن طريق تشاركٍ آمن بالمعلومات الشخصية والسياقية ضمن فضاء العمل. ما تزال مثل هذه التقانة لفرق تطوير البرمجيات، في بدايتها. يُبرِز الاستعمال الحالي الغائيّ لوسائل الإعلام الاجتماعية في الشركات أن مزيداً من التوجيهات الملموسة والبحوث التجريبية أمر ضروري لتحفيز استعمال فعّالٍ وتخفيف المخاطر الواضحة المتعلقة بالأمن وعدم الفعالية.

المَراجع

[1] C. Ebert, Global Software and IT: A Guide to Distributed Development, Projects and Outsourcing, Wiley, 2012.

[2] P. Dourish and V. Bellotti, "Awareness and Coordination in Shared Workspaces,"Proc. Int'l Conf. Computer Supported Cooperative Work (CSCW 92), ACM, 1992, pp. 107–114.

[3] C. Gutwin, S. Greenberg, and M. Roseman, "Workspace Awareness in Real Time Distributed Groupware: Framework, Widgets, and Evaluation," Proc. HCI on People and Computers XI (HCI 96), Springer, 1996, pp. 281–298.

[4] C.R.B. de Souza and D.F. Redmiles "The Awareness Network: To Whom Should I Display My Actions? And, Whose Actions Should I Monitor?," IEEE Trans. Software Eng, vol. 37, no. 3, 2011, pp. 325–340.

المؤلفون

Filippo Lanubile أستاذ مساعد في علم الحاسوب في جامعة باري. هو الرئيس العام لـ ICGSE 2013. يمكن التواصل معه على العنوان lanubile@uniba.it.

Fabio Calefato باحث ما بعد الدكتوراه في جامعة باري حيث حصل على دكتوراه في علم الحاسوب. يمكن التواصل معه على العنوان fabio.calefato@uniba.it .

Christof Ebert مدير عام Vector Consulting Services. وهو عضو بارز في IEEE ورئيس تحرير قسم تقانة البرمجيات في برمجيات IEEE. يمكن التواصل معه على العنوان christof.ebert@vector.com.

قائمة المصطلحات

LIST OF TERMS

إعداد: د. نزار الحافظ[1]

ad hoc assignments	إسنادات غائيّة
analytics	تحليلات
Advanced Photon Source (APS)	منبع الفوتون المتقدم
agile development processes	إجرائيات تطوير رشيقة
analog circuits	دارات تماثلية
answering engines	محرِّكات مُجيبة
application developers	مطوِّرو التطبيقات
Application Life-cycle Management (ALM)	إدارة دورة حياة تطبيق
arbitrary claims	ادّعاءات كيفية
arbitrary properties	خصائص عشوائية (كيفية)
ARPA: Advanced Research Project Agency	وكالة مشاريع البحوث المتقدمة
artifacts	مصنوعات
ASRU: Automatic Speech Recognition & Understanding	التعرف الآلي للكلام والتفاهم
ATIS: Air Travel Information System	نظام استعلامات السفر الجوية
audio file	ملفّ صوتي
author community	مجتمع المؤلِّفين (الكُتَّاب)
authority controls	ضوابط تعريفية
authority files	ملفّات التعريف

[1] مدير بحوث في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا.

bi-directional links	وصلات ثنائية الاتجاه
bioinformatics	المعلوماتية الحيوية
branch prediction	تنبؤ بالتفريع
branch predictor	مُتنبّئ بالتفريع
brute force	قوة عمياء
cache hit	إصابة خابية (الجمع: خوابٍ)
cache miss	فشل (إخفاق) خابية
CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)	المجلس الأوربي للبحث النووي
collaborative	تعاوني
collaborative knowledgebase	قاعدة معرفية تشاركية (تعاونية)
community add-on	إضافة مجتمع
community control	تحكُّم مشترك
complex queries	استعلامات معقَّدة
computational biology	عِلم الأحياء الحسابي
constraint violations	تجاوزات القيود (البرمجية)
context(ual) information	معلومات سياقية
continuous evolution	تطوُّر مستمرّ
control-flow paths	ممرات جريان التحكم
crowdsourcing	تعهيد جماعي
curated database	قاعدة معطيات محدَّثة (خاضعة للعناية)
custom extraction methods	طرائق استخلاص حسب الطلب
custom links	وصلات حسب الطلب
DARPA: Defense Advanced Research Project Agency	وكالة مشاريع البحوث الدفاعية المتقدمة
data exports	صادرات المعطيات
data integration	تكامل المعطيات

data model	نموذج معطيات
data warehouses	مستودعات معطيات
data-centric	متمحور حول المعطيات
dataset	مجموعة معطيات
datatype	نوع معطيات
dedicated copy	نسخة مخصَّصة (لمهمةٍ أو وظيفةٍ واحدة)
digital object identifiers	معرِّفات غَرَضية رقمية
dimer	ثنائي الجزء
direct access	نفاذ مباشر
dispatcher	مُسنِد مهام
DNA sequencings	تسلسلات من DNA
DNN: Deep Neural Network	شبكة عصبونية عميقة
downloadable data exports	صادرات معطيات قابلة للتحميل
drop-down boxes	صناديق منسدلة
easy access	نفاذ سهل
editorial processes	إجرائيات تحريرية
ELRA: European Language Resources Organization	منظمة مصادر اللغات الأوربية
Expectation-Maximum (EM) algorithm	خوارزمية التوقع الأعظمي
eXtensible Messaging and Presence Protocol (XMPP)	بروتوكول التراسل والحضور القابل للتوسيع
extension points	نقاط ملحَقَة
external identifiers	معرِّفات (معيِّنات هوية) خارجية
family trees	أشجار النَّسَب
flash memory	ذاكرة ومْضية
form-based interface	واجهة معتمدة على الاستمارات
full-featured application	تطبيق كامل السمات

gender balance	توازن الجنوسة
generic data browsers	متصفِّحات معطيات نوعية (تتناول الأنواعَ الأحيائية)
geographic coordinates	إحداثيات جغرافية
geo-tags	أمارات جغرافية
global bound analysis	تحليل الحدّ الإجمالي
global community	المجتمع العالَمي
GPU: Graphic Processing Unit	وحدة معالجة الرسوم
graph-based data model	نموذج معطيات قائم على البيانيات
group-structural awareness	وعي بنية المجموعة
hierarchical	تراتبِي
HMM: Hidden Markov Model	نموذج (إجرائية) ماركوف الخفيّ
incidental metadata	معطيات مترفِّعة عَرَضية
incremental	تزايدي
infobox	إطار معلومات
informal awareness	وعي لارسمي
in-memory databases	قواعد معطيات في الذاكرة
installation	تثبيت
Instant Messaging (IM)	تراسل فوري
instruction prefetching	جَلْب سَبْقي للتعليمة
integer linear programming	برمجة خطية صحيحة
interdependencies	تواقُفات
invariants	لامتغيرات
ISAs: Instruction-Set Architectures	بنيانات أطقم التعليمات
items	مفردات
IVR: Interactive Voice Response	الاستجابة الصوتية التفاعلية

JavaScript Object Notation (JSON)	(مصاغة) تدوين أغراض (لغة) چاڤا سكريپت
label	لَصيقة
language descriptions	توصيفات لغوية
language labels	لصيقات لغوية
language links	وصلات لغوية
language-dependent	معتمد على اللغة
language-independent identifiers	معرِّفات مستقلة عن اللغة
Large Hadron Collider (LHC)	مُصادم الهادرونات الكبير
Large Synoptic Survey Telescope (LSST)	تلسكوبُ المراقبة ذو حقل الرؤية الكبير
LDC: Linguistic Data Consortium	اتحاد المعطيات اللغوية
lightweight data access	النفاذ إلى المعطيات الخفيفة
log	قيْد (سِجِلّ)
logical reasoning	محاكمة منطقية
loop bound analysis	تحليل حدّ الحلقة
Lua	لُوَا (لغة إخطاطية)
Lua scripts	إخطاطات (لغة) لُوَا
machine-readable data exports	صادرات معطيات قابلة للقراءة آليًّا
main memory databases	قواعد المعطيات التي في الذاكرة الرئيسية
MAP: Maximum A Posteriori	اللازميّة العظمى اللاحقة منطقياً
mapping tools	أدوات مقابَلة
MFCC: Mel-Frequency Cepstral Coefficients	معِاملات سبسترال لتردد ميل
microarchitectural analysis	تحليل بنياني صِغري
milestone	مَعْلَم
MLLR: Maximum Likelihood Linear Regression	الاحتمال الأعظمي للانكفاء الخطي
MMIE: Maximum Mutual Information Estimation	التقدير الأعظمي للمعلومات المتبادلة
mobile apps	تطبيقات نقّالة

MPE: Media Processing Engine	محرك معالج الصور والفيديو
multi-language editing	تحرير متعدِّد اللغات
multilingual data	معطيات متعدِّدة اللغات
multilingual knowledgebase	قاعدة معرفية متعدِّدة اللغات
native Web application	تطبيق وب أصيل
NIST: National Institute of Standard & Technology	المعهد القومي للمعايير والتقانة
nonvolatile	لامتلاشية
notifications	إشعارات
object search	بحث غَرَضي
off-chip buses	مساري خارجية
Online Transaction Processing (OLTP)	معالجة المبادلات الآنية
open editing	تحرير مفتوح
open-source software stack	كدسة برمجيات مفتوحة المصدر
pageview	مرأًى صفحيّ
partonomical relation	علاقة الجزء بالكل
permissions	سماحيات
phase-change memory	ذاكرة متغيرة الطور
pipeline	قناة توارد
pipelining	مُوارَدة
pitfalls	شِراك
plug-ins	برمجيات قابلة للقبس (مقبسية)
plurality	تعدُّدية
posts	منشورات
prefetch	جلب سبقي
preprocess	يعالج (المعطيات) سلفًا

privileges	امتيازات
profile	مَلمَح
program fragments	جُذاذات البرنامج
property pages	صفحات الخصائص
property-value model	نموذج الخصائص والقيم
property-value pairs	أزواج من الخصائص والقيم
proprietary software	برمجيات امتلاكية (ذات ملكية خصوصية مسجَّلة ومحميَّة)
QSLCD: Qualification Software Life Cycle Data	معطيات دورة حياة برمجيات الكفاءة
qualifier	مقيِّد
quantum computing	حوسبة كمومية
query services	خدمات استعلام
reasoning	مُحاكمة
recursion	عَودية
reference modeling	نمذجة المرجعيات
references to sources	مرجعيّات لمصادر
repository	خازنة
Resource Description Framework (RDF)	(مصاغة) إطار عمل توصيف الموارد
RNN: Random Neural Network	شبكة عصبونية عشوائية
ROVER: Recognizer Output Voting Error Reduction	تخفيض الخطأ بتعرُّف الخرج بالاقتراع
RSS (Rich Site Summary) feeds	تزويد بمقتطفات الأخبار
scripting language	لغة إخطاطية
secondary data	معطيات ثانوية
Semantic MediaWiki (SMW)	(نظام برمجيات) MediaWiki الدلالي
semantics of properties	الجوانب الدلالية للخصائص
semi-Markov Conditional Random Field (CRF)	الحقل العشوائي الشرطي شبه الماركوفي

sequencing	تسلسل
slider widgets	قطع منزلقة
SLU: Spoken Language Understanding	فهم اللغة المنطوقة
social awareness	وعي اجتماعي
social infrastructure	بِنية أساسية اجتماعية
soft constraints	قيود برمجية مؤقَّتة أو مستدرَكة
source information	معلومات مصدرية
special-purpose tools	أدوات ذات أغراض خاصة
speculative execution	تنفيذ تخميني
speculative fetching	جلب تخميني
state explosion problem	مشكلة انفجار الحالة
static timing analysis	تحليل توقيتٍ سُكونيّ
statistical evaluation	تقييم إحصائي
streams	دفقات
structural representation	تمثيل بنيوي
structured data	معطيات بِنيوية (ذات بِنية)
SUR: Speech Understanding Research	بحوث فهم الكلام
synchronous communication	اتصال متزامن
taxonomy of species	تصنيف الأنواع الأحيائية
technical infrastructure	بِنية أساسية تقنية
temporal context	سياق زمني
temporal information	معلومات زمنية
ternary relations	علاقات ثلاثية
text entries	مداخل نصِّيَّة
text-based resource	مورد معتمد على النصوص
textual content	محتوى نصِّي
think maps	خرائط التفكير (التعليمية)

timing anomaly	شذوذ التوقيت
transaction	مبادلة
transitive closure	غُلاقة متعدِّية
usability	قابلية الاستعمال
user interface	واجهة مستخدِم
user-created add-ons	مُضافات من صنع المستخدِم
validity of inputs	صحة المدخَلات
validity time	أمدُ صلاحية
viewer	تطبيق عرض (إراءة)، تطبيق عارض (مُرٍ)
vision statement	بيان تصوُّرات
VOIP: Voice Over IP	الصوت وفق بروتوكول الإنترنت
volatile	متلاشية
WFST: Weighted Finite State Transducer	محوال الحالة المحدودة المثقَّلة
Wikidata API	واجهة ويكيداتا البرمجية
Wikidata community	مجتمع ويكيداتا
Wikidata Toolkit	طقم أدوات ويكيداتا
workload	حِمْل العمل
workspace awareness	وعي فضاء العمل
worldwide widgets	برمجيات مُضافة على مستوى العالم
Worst Case Execution Time (WCET)	زمن تنفيذ أسوأ حالة

مطبوعات الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية			
الكتب التخصصية	السعر (ل. س)		
	أفراد	أعضاء جمعية وطلاب	مؤسسات
معجم مصطلحات المعلوماتية	2000	1600	4000
أسس لغات البرمجة	1600	1200	2000
هندسة البرمجيات – المجلد الأول	1800	1200	2400
هندسة البرمجيات– المجلد الثاني	1400	800	2000
الذكاء الصنعي	1500	1000	2000
مفاهيم نظام التشغيل– الجزء الأول (تجليد عادي)	1600	1000	-
مفاهيم نظام التشغيل– الجزء الأول (تجليد فنّي)	1900	1300	2200
مفاهيم نظام التشغيل– الجزء الثاني	1600	1100	1900
التعمية التطبيقية (Applied Cryptology)	2400	1600	3000
المدخل إلى Mathematica 5.0 (تجليد عادي)	600	400	-
المدخل إلى Mathematica 5.0 (تجليد فني)	800	600	1200
اتصالات المعطيات والحواسيب – الجزء الأول	1600	1100	1850
اتصالات المعطيات والحواسيب – الجزء الثاني	1400	1000	1650
مسرد مصطلحات المعلوماتية إنكليزي – عربي	300	200	500
مجلة الثقافة المعلوماتية	250	200	600
مدخل إلى الخوارزميات – الجزء الأول	1800	1200	2400
مدخل إلى الخوارزميات – الجزء الثاني	1800	1200	2400
أسس نظم قواعد المعطيات – الجزء الأول	1800	1800	1800