



البيّافير المعلوماتية

مجلّة دورية تُصدرها الجمعية العامّة السوريّة للمعلوماتية

السنة الحادية والعشرون - العدد الرابع والخمسون - أيلول "سبتمبر"/كانون الأول "ديسمبر" 2017

ملف العدد: تحسين أداء النظم

الخرن اللامتلاشي

مقاييس حيوية متعددة الأنماط لتعزيز أمن الأجهزة المتقلّة

تحسين استعمالية الواجهات البرمجية للتطبيقات

الأبحاث الأخرى

الحوسبة المكانية

إعادة تصوّر البحث

كيف يمكن لشريّر (أو لهاكر في قبو منزله) تدمير الإنترنت

حدود اللامألوف

تُشير تقنيات الإصلاح الذاتي إلى الربوطات التي تصمم نفسها

يمكن للتقنيات الحاليّة أن تساعد المُعاقين

قائمة المصطلحات



الثقافة والمعلوماتية

مجلة دورية تصدرها الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية

السنة الحادية والعشرون - العدد الرابع والخمسون - أيلول "سبتمبر"/كانون الأول "ديسمبر" 2017

رئيس التحرير:

الدكتور موفق دعبول

هيئة التحرير:

الدكتور سعد الله آغا القلعة

الدكتور سامح جزماتي

الدكتور نزار الحافظ

الدكتور رakan رزوق

الدكتور حسان ريشة

الدكتور عماد الصابوني

الدكتورة ندى غنيم

الدكتور منصور فرح

الدكتور محمد مراياتي

أمانة التحرير:

هيفاء باكير

للمراسلات:

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

بريد إلكتروني: nzhafez@scs-net.org

تنسيق المقالات وإعداد المجلة للطباعة: **الدكتور نزار الحافظ**
الإخراج الفني والمعالجة: **مركز الفوال للفرز والمونتاج الإلكتروني**

اخترنا لهذا العدد ثلاثة بحوث تحت العنوان **تحسين أداء النظم**، هي: " **الخزن اللامتلاشي** "، " **مقاييس حيوية متعددة الأنماط لتعزيز أمن الأجهزة المتقلة** "، " **تحسين استعمالية الواجهات البرمجية للتطبيقات** ".

يناقش **البحث الأول** (الخزن اللامتلاشي) بناءً نظام تخزين قابل للتوسع باستعمال ذواكر التخزين (SCM)، ويدرس أسباب إخفاق بنيانات التخزين التقليدية (كالأقراص الصلبة) في استثمار الأداء الذي توفره الذواكر SCM، وما الذي ينبغي فعله للاستفادة منها إلى أعلى حد.

يعرض **البحث الثاني** (مقاييس حيوية متعددة الأنماط لتعزيز أمن الأجهزة المتقلة) مقاييس حيوية لتحديد الأشخاص اعتماداً على صفات جسدية وسلوكية متعددة، سعياً نحو زيادة الاستيقان والأمن والمناعة في الأجهزة المتقلة. ويقدم البحث تجربة حول إدخال مقاييس حيوية متعددة الأنماط تعتمد على الوجه والصوت ضمن هاتف جوال، ويقدم أداء التعرف فيه. ويناقش التحديات التي تواجه استعمال تلك المقاييس في الجوال.

يتناول **البحث الثالث** (تحسين استعمالية الواجهات البرمجية للتطبيقات) الأهمية المرجوة من قابلية استعمال الواجهات البرمجية للتطبيقات وسبل تحسين تلك الاستعمالية. ويستعرض لهذه الغاية بعضاً من الجهود والبحوث والأدوات والطرائق المتاحة. ويناقش الفوائد على مستويات زيادة الفاعلية والجدوى ومستوى الأمن وتحسين جودة البرمجيات.

واخترنا أيضاً لهذا العدد ستة بحوث متنوعة المواضيع مثيرة للاهتمام هي على الترتيب: " **الحوسبة المكانية** "، " **إعادة تصوّر البحث** "، " **كيف يمكن لشريير (أو لهاكر في قبو منزله) تدمير الإنترنت** "، " **حدود اللامألوف** "، " **تُشير تقنيات الاصلاح الذاتي إلى الربوطات التي تصمم نفسها** "، " **يمكن للتقنيات الحالية أن تساعد المُعاقين** ".

يعرض **أول هذه البحوث** (الحوسبة المكانية) منظوراً واسعاً للحوسبة المكانية التي تُعدّ حقلاً متعدد التخصصات الهندسية، لأنها تستوعب الأفكار والحلول والأدوات والتقانات والنظم التي تحوّل حياتنا بمعرفتنا وتواصلنا وعلاقتنا بالمواقع وكيفية انتقالنا ضمنها. ويصف البحث عدة أمثلة على الحوسبة المكانية، ويستعرض عددًا من الفرص البحثية والتحديات التي يثيرها هذا الموضوع.

يتحدث **ثانيها** (إعادة تصوّر البحث) عما يتوجه إليه مطورو محركات البحث من معرفة قصد الأشخاص وإعادة مجموعة نتائج أكثر دقة بدلاً من مجرد مجموعة وثائق موافقة لمحارف الطلب.

يستقصي **ثالثها** (كيف يمكن لشريير (أو لهاكر في قبو منزله) تدمير الإنترنت) بعض التهديدات الكبرى التي يراها المختصون لبنية الإنترنت الأساسية، وما الذي يمكن فعله للمساعدة على منعها.

يسلط **رابعها** (حدود اللامألوف) الضوء على الربوط الحواري، وهو ربوط اجتماعي مادي ذو جاذبية، والتحديات التي تواجه تصميم هذا النوع من الربوطات، من قبيل انزعاج الناس من الربوطات الشبيهة بالبشر (نظرية وادي اللامألوف).

يلقي خامسها (تُشير تقنيات الاصلاح الذاتي إلى الربوطات التي تصمم نفسها) نظرةً على تطبيقاتٍ تُستعمل ربوطاتٍ تكون فيها هذه الربوطات قادرة على تجاوز الأعطال وإصلاح نفسها حين لا يكون هناك بشر لإصلاح الربوطات أو للمساعدة، وبنقاش البحث بعض تحديات الإصلاح الذاتي للربوط.

أخيراً، يتأمل سادسها (يمكن للتقنيات الحاليّة أن تساعد المُعاقين) بعضَ التقنيات المتاحة التي يمكنها مساعدة المُعاقين سواءً على أداء مهامهم ونشاطاتهم اليومية، أو على الترفيه والإنتاجية، مثل تقانات النفاذ النقالّة، والنفاذ إلى الحياة، والنفاذ إلى الصّحة.

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، ونأمل أن نتواصل معنا بإرسال ملاحظاتك ومقترحاتك إلينا ...

وإلى اللقاء معك في العدد القادم.

رئيس التحرير

الدكتور موفق دعبول

المحتويات

ملف العدد: تحسين أداء النظم

- 9 الخزن اللامتلاشي
- 21 مقاييس حيوية متعددة الأنماط لتعزيز أمن الأجهزة المتقلة
- 33 تحسين استعمالية الواجهات البرمجية للتطبيقات

الأبحاث الأخرى

- 47 الحوسبة المكانية
- 65 إعادة تصوّر البحث
- 69 كيف يمكن لشريـر (أو لهاكـر في قبو منزله) تدمير الإنترنت
- 75 حدود اللامألوف
- 81 تُشير تقنيات الإصلاح الذاتي إلى الربوطات التي تصمم نفسها
- 85 يمكن للتقنيات الحالية أن تساعد المُعاقين

قائمة المصطلحات

الخبزن اللامتلاشي

NON-VOLATILE STORAGE*

Mihir Nanavati, Malte Schwarzkopf, Jake Wires, Andrew Warfield

ترجمة: د. خالد مصري

مراجعة: د. نزار الحافظ

منعكسات مركز التحول في مركز المعطيات.

لاحظ معظم علماء الحاسوب الممارسين، على مدار حياتهم المهنية، ملاحظة أساسية اعتبروها صحيحة على الدوام، مفادها أن وحدات المعالجة المركزية (CPU (Central Processing Unit هي أفضل أداءً وأعلى تكلفةً من تجهيزات الدخل/الخرج I/O. لقد كان لقدرة وحدات المعالجة المركزية على معالجة المعطيات بمعدلات مرتفعة جداً، مع تخديمها في الوقت نفسه تجهيزات دخل/خرج متعددة، تأثير كاسح في تصميم كل من عتاديات وبرمجيات النظم من جميع الأحجام، طوال مدة بنائنا إيها.

ولكن هذه المسألة هي الآن في طور أن تصبح باطلة تماماً.

إن مجيء تجهيزات التخزين اللامتلاشي العالية السرعة، التي يُشار إليها عادةً بذاكر من صنف التخزين Storage Class Memories (SCM)¹، هو على الأرجح أكبر تغيير بنياني يواجهه مصممو البرمجيات ومراكز المعطيات في المستقبل المنظور. يزداد استعمال ذواكر SCM في منظومات المُخدّمات، وهذا يُشكّل تغييراً هائلاً: إذ تتجاوز تكلفة SCM،

3,000-5,000 دولار، وهي تتجاوز بلا جدال تكلفة وحدة CPU المتعددة النوى (1,000-2,000 دولار)؛ ثم إن أداء SCM (مئات الآلاف من عمليات I/O في الثانية) عالٍ لدرجة أننا نحتاج إلى وحدة معالجة مركزية متعددة النوى أو أكثر لإشباعها.

إن لهذا التغيير أثراً عميقة:

1. لم تعد المسألة التي استمرت طويلاً وهي أن I/O بطيئة والحوسبة سريعة، صحيحة: يُبطل ذلك عشراتٍ من قرارات التصميم المُتضمّنة في عمق النظم الحالية.

* تُنشر هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 59، العدد 1، كانون الثاني (يناير) 2016، الصفحات 56 – 63.

¹ تقانات شركة IBM لذواكر التخزين اللامتلاشية الصلبة تجمع بين فوائد الذاكرة الصلبة (الأداء العالي والمناعة) وقدرات الأرشيف والتكلفة المنخفضة للسواقات الصلبة التقليدية (المترجم).

2. لقد تغيّر الأداء النسبي للطبقات في النظم بمقدار ألف ضعف خلال مدة قصيرة: يتطلب ذلك تكيفاً سريعاً في كل كدسة برمجيات النظم.

3. إن أكوام البنية الأساسية لمراكز معطيات الشركات الحالية (العنديات والبرمجيات) هي الآن في طور أن تصبح عديمة الفائدة (أو على الأقل غير مجدية البتة): تتطلب الذواكر SCM إعادة التفكير في التوازن بين الحوسبة والخزن وفي البنيان من الألف إلى الياء.

تُبرز هذه المقالة أربع سنوات من الخبرة في بناء نظام تخزين للشركات قابل للتوسع باستعمال الذواكر SCM؛ ناقش، على وجه الخصوص، أسباب إخفاق بنيانات التخزين التقليدية في استثمار الأداء الذي توفره الذواكر SCM، والمطلوب للاستفادة منها إلى أعلى حد، والدروس التي تعلمناها.

أيها العالم العجوز

"في الواقع، تتقدم قدرة المعالجة على تلبّث القرص بفارق كبير، وهذا يستوجب جلب عدة كتل مقدّماً، كي يستمر تزويد المعالج بالمعطيات... ولحسن الحظ، فإن لدى الآلات (الحواسيب) الحديثة عدداً كافياً من الدورات الاحتياطية لدعم المتوقعين ذوي المتطلبات الحسابية التي تفوق ما اقترحه أي شخص حتى الآن."¹⁰ Papathanasiou and Scott

لقد ترسّخ في أذهان المطوّرين سنيين طويلة أن الأقراس رخيصةً وبطيئةً، في حين أن وحدات المعالجة المركزية باهظة الثمن وسريعةً. بالفعل، تؤكّد الكتب الجامعية، مثل كتاب "نظم الحاسوب: من منظور المبرمج" Computer Systems: A Programmer's Perspective،³ للمؤلفين برينت Bryant وأوهالارون O'Hallaron تؤكّد عواقب وجود هرمية الذاكرة، وأهمية فهم المطوّرين المبتدئين لأثرها في برامجهم. ويُرَكِّز جيف دين Jeff Dean، ربما على نحوٍ أقلّ تمسكاً بالقواعد، في كتابه "الأعداد التي يجب أن يعرفها كل شخص" "Numbers that everyone should know"⁷ على أزمنة التلبّث المزعجة التي تتطلبها كل أشكال I/O. وبذلك كانت الرسالة المتسقة الموجهة إلى المطوّرين على مدار السنين، أن ما يضمن الأداء الجيد هو الحفاظ، في التطبيق، على مجموعة عملٍ صغيرة إلى حدٍ يناسب حجم الذاكرة RAM، وفي الحالة المثالية يناسب حجم خابية المعالج. وإذا لم تكن المجموعة صغيرةً إلى الحدّ المطلوب، فنحن في ورطة.

بالفعل، في حين كان التخزين الدائم بطيئاً دائماً مقارنةً بوحدة المعالجة المركزية، فقد اتسعت فعلياً "فجوة I/O" هذه سنوياً أثناء التسعينيات من القرن الماضي وحتى أوائل القرن الواحد والعشرين¹⁰. لقد تحسّنت المعالجات بخطّ ثابتة، ولكن بقي أداء المساق الميكانيكية دون تغيير، وبقيت رهينةً فيزياء السرعة الدورانية وأزمنة النشّدان seek times. طوال عقود من الزمن، كانت فجوة I/O أمّ الابتكار لعددٍ كبير من الأساليب الإبداعية لتحاكي عمليات الدخل/الخرج ذات الإيقاف، المزعجة، التي توقف المعالج عن العمل، والمبددة للوقت.

لقد كانت التخبيّة وما تزال أكثر الترياقات شيوعاً للأداء الرديء للتخزين المستديم الكبير السعة. تمتد التخبيّة، في النظم الحالية، على كل الطبقات: فتخبّي المعالجات محتويات الذواكر RAM بجلاء؛ وتخبّي نظم التشغيل قطاعات قرصٍ كاملٍ في خواري تصوين داخلية؛ وتواجه البنيانات على مستوى التطبيقات قواعد معطيات الإحالة المستديمة القوية البطيئة (backend) بمخازن في الذاكرة (in memory) مثل memcached و Redis. بالفعل، هناك خلافاً مستمر على الموضوع ضمن كدسة الذي يجب أن تُخبّي فيه المعطيات: فقواعد المعطيات والمعالجة الموزعة للمعطيات تتطلب تحكماً أدق، وفي

بعض الأحيان تُخبأ المعطيات ضمن التطبيق في فضاء المُستعمل. استكشفت⁹ RAMCloud ، كدرجة قصوى في فضاء التصميم، إمكان الحافظ على كل معطيات تجمّع cluster في ذاكرة DRAM وجعلها دائمةً بواسطة آليات استرجاع سريعة.

تكاد تكون التخبئة الاستراتيجية الوحيدة للتعامل مع فجوة I/O. تُقايس العديد من التقنيات حرفياً زمن وحدة المعالجة المركزية بأداء القرص: فعلى سبيل المثال، يؤدي الضغط وإزالة التكرار (deduplication) إلى اختزال المعطيات، ودفع ثمن حسابي لكي تبدو الذاكر أسرع أكبر حجماً. تُمكن الذاكر الأكبر حجماً التطبيقات من امتلاك مجموعات عمل أكبر حجماً دون الحاجة إلى المساس بالأقراص الدوّارة. لقد كان ضغط الذاكرة الرئيسية استراتيجية شائعة لتوسيع النظام "بمضاعفة الذاكرة RAM" في عصر حواسيب سطح المكتب في التسعينيات من القرن الماضي¹⁴. وقد بقي ذلك تقنية شائعة في كل من نظم التخزين في شركات وفي بيئات المعطيات الكبيرة big data من القرن الماضي، حيث تُستعمل أدوات مثل Apache Parquet لإعادة تنظيم المعطيات الموجودة على القرص، وضغطها لاختزال الزمن الذي يُقضى في انتظار I/O.

العالم الجديد الشجاع

وفقاً لمقالة² Bjorling et al., 2013: "يُخفّض تنفيذ مقاييس متعددة عمليات دخل/خرج تدفق طبقة الكتلة block layer في نظام لينكس Linux إلى قرابة 125,000 عملية دخل/خرج في الثانية (IOPS (Input/Output operations per second) ، هذا مع وجود تجهيزات "الحالة الصلبة" ذات الجودة العالية في السوق منذ عدة سنوات، القادرة على إنجاز معدل عمليات IOPS أعلى من ذلك. لا يُعدّ تصدّد طبقة الكتلة في نظام لينكس مشكلة يمكن أن نصادفها في المستقبل، فهي مشكلة كبيرة تواجهها الحوسبة العالية الأداء HPC (High Performance Computing) عملياً في الوقت الحالي."

ليست تجهيزات الخزن المعتمدة على الذاكرة الومضية حديثة: فقد كانت تجهيزات Serial-attached SCSI (SAS) ومساوق الحالة الصلبة SATA SSD متوفرة منذ العقد الأخير على الأقل، وأدخلت الذاكرة الومضية في الحواسيب بنفس عامل شكل² الأقراص الدوّارة. تُجسّد ذواكر SCM نُضج هذه التجهيزات الومضية لتكون تجهيزات I/O جديدة من الصنف الأول: نقلت ذواكر SCM الذاكرة الومضية من مساري SAS و SATA البطيئة التي استعملتها الأقراص تاريخياً، إلى المسرى PCIe الأسرع كثيراً الذي تستعمله تجهيزات أكثر حساسية للأداء، مثل الواجهات الشبكية ووحدات المعالجة البيانية graphics processing unit (GPU). إضافة إلى ذلك، تتصل ذواكر SCM البازغة، مثل ذواكر DIMM (NVDIMM) اللامتلاشية، ب CPU وكأنها DRAM ، وتقدّم مستويات أعلى أداء للخزّن اللامتلاشي.

تُمثّل ذواكر SCM الحالية المعتمدة على PCIe تغييراً مذهلاً في الأداء أكبر بألف مرة مقارنةً بالأقراص الدوّارة (تقريباً 100 k I/O عملية في الثانية مقابل 100 تقريباً). من النادر أن يفترض علماء الحواسيب تغييراً في أداء المكونات العتادية الأساسية بمقدار 1000 مرة أو أكثر. يتأكد هذا التغيير بحقيقة استمرار سبق أداء الذواكر اللامتلاشية وسعتها تحسّن أداء وحدات المعالجة المركزية CPU عاماً بعد عام، رادماً بذلك الفجوة I/O ، وربما يعكسها أيضاً.

² عامل الشكل form factor هو أسهل طريقة لتصنيف الذواكر. وهو يصف أبعادها وتشكيلها مغارزها. (المترجم)

يعني أداء الذاكر SCM أن على النظم ألا "تختبئ" بعد الآن وراء اختزال المعطيات والتخبئة لتحقيق تدفقٍ عالٍ. مع ذلك، وللأسف، فإن ثمن هذا الأداء المتزايد باهظاً، إذ إن تكلفة الذاكر SCM أكبر بخمسٍ وعشرين مرة من تكلفة الأقراص الدوّارة التقليدية (1.50\$/GB مقابل 0.06\$/GB)، وتبلغ تكلفة كل تجهيزة من التجهيزات الومضية PCIe من صنف المؤسسات \$3000-\$5000. وهذا يعني أنّ تكلفة الخزن اللامتلاشي يمكن بلا ريب أن تفوق تكلفة المعالجات CPU والذاكر DRAM وباقي نظام المُخدّم التي أُرسيت هذه المكونات فيها. إن الآثار المترتبة على هذا التحول كبيرة: فالذاكرة اللامتلاشية في سبيلها لتحلّ محلّ وحدة المعالجة المركزية CPU بوصفها مركزاً اقتصادياً لمركز المعطيات.

يجب أن تكون نظم التخزين قادرةً على إشباع ذواكر SCM العالية التكلفة، حتى تستفيد من القيمة المستخلصة منها إلى أقصى حدّ. وهذا بعيد عن أن يكون بديهياً: فعلى سبيل المثال، يُحسّن انتقال برمجيات MySQL من أقراص SATA RAID إلى تجهيزات SSD الأداء بعامل 5-7 فقط¹⁴، وهذا أخفض بكثير من فارق التجهيزة الخام. وفي سياق المعطيات الكبيرة، كانت تحليلات حديثة لتجهيزات SSD أجرتها Cloudera مختلطة على نحوٍ مشابه: "تعلّمنا أن تجهيزات SSD تُقدّم فائدةً كبيرةً في الأداء لبعض أحمال العمل، وفي أسوأ الحالات لا تسبب أي ضرر"⁴. وجدنا من تجربتنا الشخصية أن الجهود المبذولة لإشباع التجهيزات الومضية PCIe تتطلب غالباً استمثال نظم الخزن الفرعية الحالية، ومن ثمّ تستهلك مقداراً كبيراً من دورات CPU. وإضافةً إلى هذه الدورات، تُمضي كدسات التطبيق الكاملة بعضاً من الوقت (هو طويلٌ كما نأمل) لتتعامل في الواقع مع المعطيات التي يجري قراءتها وكتابتها. ويتطلب الحفاظ على تجهيزات SCM المرتفعة الثمن مشغولةً، غالباً وجود أعدادٍ من وحدات المعالجة المركزية أكبر بكثير لتوليد حمل I/O كافٍ.

بالمُجمل، بالرغم من الأداء الجذّاب لهذه التجهيزات، ثمة تحدّ حقيقي هو أن نحشرها على نحوٍ فعّال في النظم الحالية؛ و عوضاً عن ذلك، تحتاج العتاديات والبرمجيات إلى أن تُصمّم معاً بهدف تعظيم الكفاءة.

سنناقش في هذه المقالة بعض التقنيات والاعتبارات في التصميم الفائق الأداء والاستعمال في نظم خزن المؤسسة. *النظم المتوازنة*: وهذه تعالج الاختناقات والنقص في قدرات المكونات الأخرى التي لا تكون مشمولةً في وجود ذواكر SCM. على سبيل المثال، يجب أن يتوقّر عددٌ كافٍ من نوى CPU، ويجب أن توفّر الشبكة ترابطيةً كافية لكي يمكن توزيع المعطيات من الخزن بكل سعتها. يُبدّد الإخفاق في بناء نظم متوازنة استثمار رأس المال في SCM الباهظة الثمن. نحتاج إلى جدولةٍ محورها I/O خالية من التنافس *contention free* لكي تُسند وحدات CPU المتعددة بفعالية عمليات الدخل/الخرج إلى تجهيزة الخزن ذاتها، أي لتتشارك في تجهيزة SCM منفردة دون أن تُسلسل النفاذ على مستوى جميع وحدات CPU. يؤدي الإخفاق في جدولة عمليات I/O جدولةً صحيحةً إلى أداءٍ دون المستوى المطلوب، وإلى استعمالٍ منخفض لتجهيزات SCM الباهظة الثمن.

يتصدى التصعد الأفقي وإدراك المواضع placement لقيود الموارد، وذلك بتحاشي التجميع التقليدي كما يفعله منظم الملفات، وبدلاً من ذلك، يوزّع المعطيات على التجمّع وينقلها بحويبة استباقياً لموازنة الحمل على نحوٍ أفضل. يؤدي الإخفاق في التصعد الأفقي وإدراك المواضع إلى نظم خزن لا يمكنها أن تنمو.

يُستثمر التخزين في طبقاتٍ، المُدرِك لحمل العمل محلّية النفاذ في معظم أحمال العمل لموازنة الأداء، والسعة، ومتطلبات التكلفة. يُستعمل التخزين العالي السرعة المنخفض السعة لتخبئة المعطيات الساخنة المنقولة من الطبقات الأبطأ، على حين يُعزّز النظام المعطيات ويُخفّضها بفعاليةً بتغيير أحمال العمل. يؤدي الإخفاق في تنجيز التخزين في طبقاتٍ، المُدرِك لحمل العمل إلى تبيد سعة تجهيزات SCM ذات القيمة العالية على المعطيات الباردة.

أخيراً، نختم بالإشارة إلى بعض التحديّات في تصميم مراكز المعطيات والتطبيقات، التي نتوقعها من التجهيزات اللامتلاشية، ذات السرعة المُطرّدة، والتي ستكون متوفرة في الأعوام القليلة القادمة.

موازنة النُظم

هل يُمكننا أن نضع ببساطة تجهيزات SCM في نظامنا بدلاً من الأقراص المغنطيسية، وأن نُعلن أنّ القضية قد أغلقت؟ هذا ليس صحيحاً. باستبدال التجهيزات SCM بالأقراص البطيئة، فإن ما نفعله هو مجرد إزاحة اختناقات الأداء، وكشف أوجه قصور الموارد في مواضع أخرى- في كل من العتاديات والبرمجيات. لنأمل كمثال بسيط لكن موضّح، تطبيقاً يُعالج المعطيات على القرص بإصدار عدد كبير من الطلبات المنتظرة (لإشغال القرص)، وبعد ذلك يُستعمل مجموعة من نيسب عاملٍ أو أكثر لمعالجة القراءات من القرص عند اكتمالها. في النظام التقليدي حيث تكون الأقراص هي الاختناقات، تجري معالجة الطلبات بعد اكتمالها مباشرة تقريباً، ويمكن كتابة المنطق (الحساس) لجعل أرتال طلبات القرص ممتلئة، لكي يبقى عددٌ معين من الطلبات مُحلّفاً في جميع الأوقات. يمكن أن تتزاح الاختناقات عند استعمال تجهيزات SCM بسهولة من القرص إلى CPU: فعوضاً عن الانتظار في أرتالٍ بمقدمة الأقراص، تكتمل الطلبات مباشرة تقريباً، ثم تنتظر النياسب العاملات لانتقاطها، مستهلكة ذاكرةً حتى تحين معالجتها. ونتيجةً لذلك، رأينا على أرض الواقع، تجزيراتٍ لمُخدّم شبكة وأعمالٍ تحليلية للمعطيات، حيث كانت النتيجة الملموسة لاستعمال أوساط التخزين الأسرع، الحاجة إلى ذاكرة RAM أكبر بكثير لتنظيم المعطيات التي جرت قراءتها لكن لم تُعالج. يؤدي نقل اختناقات الأداء إلى تغيير في طلبات الذاكرة في النظام، وقد يؤدي ذلك مثلاً، في أسوأ الحالات، إلى أن يعيد المضيف المعطيات من الذاكرة إلى القرص!

إضافةً إلى التغييرات السلوكية في البرمجيات الحالية التي تنتج من أداء تجهيزات SCM، فإن تحقيق قيمة هذه التجهيزات يتطلب أن تبقى مشغولة. تُعدُّ قلة الانتفاع بالتجهيزات SCM ووجودها في حالة الراحة تبديداً لموردٍ ثمين، وهي فرصة لتعزيز أحمال العمل. ومن المثير للاهتمام، أن هذا هو المنطق ذاته الذي استعمل على مدى عقدٍ مضى، ليشجّع على التحقيق الافتراضي لوحدة CPU وسيلةً لتحسين الانتفاع بمرور الحوسبة. لقد وجدنا نتيجة مشاركتنا بجهود كبيرة في بناء النُظم لكلٍ من التحقيق الافتراضي لـ CPU وـ SCM، أن تحقيق استعمالٍ مستديمٍ لتجهيزات SCM يُعدُّ هدفاً ذا تحدٍّ أكبر حقاً مما كان عليه في حالة CPU. إنها ليست مجرد مسألة تحقيق افتراضي لعتاديات تجهيزات SCM في مُخدّم، وإضافة مزيدٍ من الآلات الافتراضية VM أو التطبيقات: إذ يمكن أن تصادف الاختناقات في CPU أو الذاكرة قبل أن إشباع SCM بمدة طويلة. وبدلاً من ذلك، يتطلب إشباع SCM غالباً استعمال آلة مُخصّصة لتجهيزات SCM ونشر التطبيقات على آلات مادية أخرى.

نتيجةً لذلك، تهيمن تكلفة وأداء تجهيزات التخزين على تصميم مركز المعطيات. إنّ ضمان الانتفاع بها أصبح نقطة تركيز رئيسية، ووجدنا أن هذا لا يمكن أن يتحقق إلاّ ببناء نُظم متوازنة: أي نُظمٍ بعددٍ مناسب من النوى، والمقدار الصحيح من الذاكرة لإشباع العدد المطلوب من التجهيزات الوضعية اللازمة بالضبط لحمل عملٍ مُعطى.

أن يُوتي هذا التصميم المتوازن المهتم بالتخزين ثماره، ليس فكرةً جديدة: فثمة محاولاتٍ أُنجزت سابقاً، مثل نظام الفرز TritonSort، الذي فاز بقياس أداء الفرز في عام 2011 وذلك بإجراء استمثالٍ مُتأني به لتدفق القرص المغنطيسي لتجمّع¹¹. مع ذلك، كانت محاولات الاستمثال هذه نادرة في عصر الأقراص المغنطيسية، وهي- في حالة TritonSort بالتأكيد- مُخصصة بعتادياتٍ وحملٍ عملٍ مُحدّدين. كان يعني بطء الأقراص التقليدي أن موازنة سرعة التخزين مع مكونات

النظام الأخرى أمرٌ غير وارد لمعظم أحمال العمل، ومن ثمّ فقد ركّزت الجهودُ على حجب النفاذ إلى الخزن لمنعه من الإخلال بموازنة الموارد الأخرى.

يتطلب الانتفاع الجيد بتجهيزات SCM هذا التوازنَ بشكلٍ أكثر إلحاحاً: يؤدي شراء عددٍ أكبر من اللازم من التجهيزات الوضعية، وعددٍ أقل من اللازم من النوى أو ذواكر RAM أصغر من اللازم إلى تبديد رأس المال، في حين يُهدد شراء عددٍ أقل من اللازم من التجهيزات الوضعية، ونشرها نشرًا مفرقًا، بحدوث اختناقات في النفاذ إليها- مع أن الاختناقات على الأرجح سوف تكون في موارد النظام الأخرى لا في SCM ذاتها! بالطبع، يبقى التوازن الصحيح صفةً لجمال العمل، وإذا اقترن بالتعزيز الذي نهدف إليه فإنه يصبح هدفاً منشوداً صعباً جداً: تُصعب سلفاً أحمال العمل اللامتجانسة تحقيق الانتفاع الكلي بالنظام، حتى قبل أن نأخذ بالحسبان طبقة التخزين. أحد الأمثلة على هذا، المستخلص من عملنا كانت مسألة، تبدو بسيطة، هي مسألة التصعيد الديناميكي لتتجيز مُخدّم NFS تقليدي، بغرض مسح عرضِ حزمةٍ مادي أكبر عند إدخال تجهيزات SCM (والمعالجات وبطاقات الشبكة المرافقة لها) إلى النظام⁵.

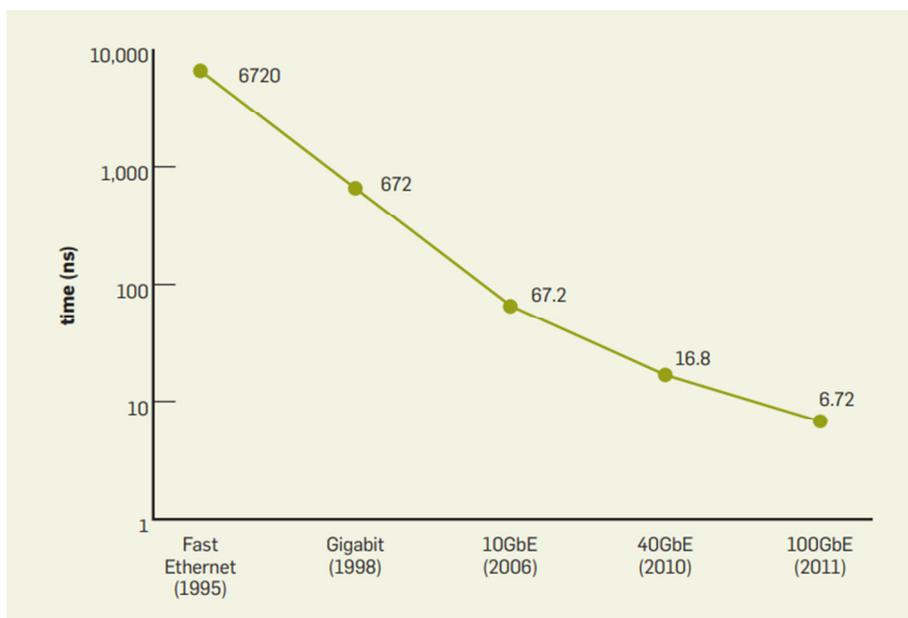
جدولة محورها I/O خالية من التنازع

حتى لو كانت الموارد العتادية وجمال العمل متوازنة تماماً، فإن البعد الزمني للتشارك في الموارد هام بنفس القدر. بقيت عمليات I/O المقفودة بالمقاطعة مدةً طويلة، النموذج المختار للتفاعل بين المعالج والقرص. كان ذلك نتيجةً مباشرةً لعدم توافق سرعتيهما: في حالة نواة تعمل بتردد بضعة جيجا هرتز، يكون تخديم مقاطعة كل بضعة ملي ثانية أمراً سهلاً إلى حدٍ ما. يمكن لنواة منفردة أن تحدّم عشرات أو مئات الأقراص دون أن تغرق overwhelmed وأن تُقوّت المواعيد النهائية .deadlines

يجب أن يتغير هذا النموذج تغيراً جذرياً في حالة تجهيزات ("عصر المِكروثانية") القليلة التلبّث. مع ذلك، فإن تجهيزات التخزين ليست الطرفيات الوحيدة التي شهدت تغيراً في سرعتها- فقد شهدت التجهيزات الشبكية تحسيناتٍ سريعة مماثلة في الأداء من 10G حتى 40G، وأخيراً، 100G. وربما يمكن لنظم التخزين أن تستعمل التقنيات ذاتها لإشباع التجهيزات؟

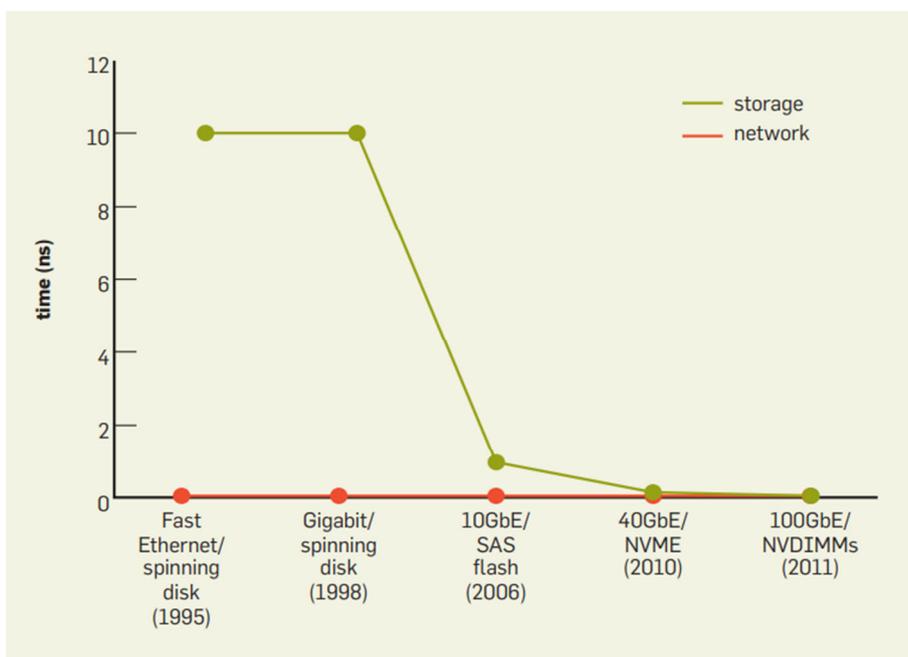
من المؤسف، أن الإجابة ليست مجرد نعم أو لا. يتضاءل كسبُ تجهيزات التشبيك مقارنةً بالارتفاع الهائل لسرعة تجهيزات التخزين؛ فمثلاً، يبين الشكلان 1 و 2 أنه في المدة نفسها التي ازدادت فيها سرعة الشبكات ألف مرة، أصبحت تجهيزات التخزين أسرع بمليون مرة. وإضافةً إلى ذلك، يجب أن تُدعم كدساتُ التخزين غالباً سِمَاتٍ مُعقّدة، مثل الضغط والتعمية واللقطات snapshots وإزالة التكرار deduplication مباشرةً على مسار المعطيات، وهذا ما يُصعب تطبيق الاستمثالات التي تفترض رُزماً مستقلة دون تبعيةٍ معطياتٍ.

تقوم إحدى التقنيات، التي تعتمد على التجهيزات الشبكية عادةً لتقليل التلبّث، على إلغاء عبء معالجة مقاطعات الحمل المُضاف، بالانتقال إلى الاستقصاء polling عندما يكون النظام في حالة تحميلٍ كبير. نجّر نظاماً Linux NAPI و Intel Busy Poll Sockets نمطَ استقصاءٍ لموائمات الشبكة، يُلغي كلاً من ابتدال السياق وتلوث الخابية و TLB (صوان التحويل بالبحث الجانبي Translation Look-aside Buffer) المرتبط بالمقاطعات. كذلك، لا تنتقل النوى المشغولة بالاستقصاء إلى نمط حفظ الطاقة البتة، فتسبّب توفيراً في تكلفة انتقالات حالة المعالج. يُسبّب انتقال موائمات الشبكة إلى نمط الاستقصاء تخفيض التلبّث بنحو 30%، ويؤدي التخزين اللامتلاشي تحسيناتٍ مماثلة¹⁶.



الشكل 1. مدة المعالجة لكل رزمة باستخدام موائمات شبكية أسرع.

مع ذلك، فإن للاستقصاء مجموعة من التحدّيات الخاصة به. إن لوحة المعالجة المركزية مسؤوليات أكثر من مجرد تخديم تجهيزة- فعلى أقل تقدير، عليها أن تعالج طلباً وأن تتصرف بصفقتها مَصدراً أو مَقَرّاً للمعطيات المرتبطة بالطلب. في حالة أُطر عمل التوازي للمعطيات مثل Hadoop و Spark^{7,17}، قد يُطلب من وحدة المعالجة المركزية أن



الشكل 2. تطوّر سرعة التجهيزات SCM مقارنةً بالموائمات الشبكية.

تجري تحويلات أكثر تعقيداً على المعطيات. ومن ثم، يجب اختيار ترددات الاستقصاء بعناية لضمان عدم معاناة التجهيزات أو الحساب من الجِرمَان starvation، وتحتاج جدولة الاستراتيجيات المُصمَّمة لاستثمار أحمال العمل الثقيلة من حيث I/O التقليدية إلى إعادة تقويم، لأن أحمال العمل هذه هي حالياً بالضرورة ثقيلةً من حيث الحساب أيضاً.

تحتاج وحدة المعالجة المركزية إلى 10 ميكروثانيات تقريباً لمعالجة طلب I/O واحد، عند معدّل 100k IOPS لحمل عملٍ عشوائيٍ منتظم. ولأن التجهيزات SCM الحالية هي غالباً أسرع بكثير في معالجة أحمال العمل التتابعية أو ذات القراءة فقط، يمكن أن يهبط زمن المعالجة هذا إلى 2.5 ميكروثانية في حالة العتاديات السلعية commodity. الأسوأ من ذلك، ولأن هذه الطلبات تأتي عادةً من مصدر بعيد، يجب تخديم تجهيزات الشبكة بالمعدّل ذاته، وهذا ما يُقصر مدة المعالجة المتاحة لكل طلب. لكي نضع هذه الأرقام في السياق، يستغرق الحصول على قفلٍ بلا منازع منفرد في النُظْم الحالية 20 ns تقريباً، في حين يمكن أن يُكفّف إبطال صلاحيةٍ لخابية بلا إيقاف حتى 100 ns، أي أقل من عملية I/O بـ 25 مرة.

يمكن أن تُغرق التجهيزات SCM الحالية نواةً منفردةً؛ ويتطلب الأمر قيام نوىٍ متعددة بتوليد طلباتٍ في الوقت نفسه لتحقيق الإشباع. وعلى حين يسمح الدعم العتادي بأرتالٍ متعددة التوليد المتوازي هذا، فإن طبقة الكتلة في النواة تُسلسل النفاذ إلى الأرتال، وتتطلب إعادة تصميمٍ كبيرةً لتحاكي الأقفال المتنازع عليها contended.² مع ذلك، وحتى في حالة طبقة الكتلة الخالية من التنازع، يجب سلسلة الطلبات إلى المناطق المتراكبة، لتحاكي فساد corruption المعطيات. تستعمل كدسات الشبكة العالية الأداء تقنيةً رئيسةً أخرى لتقليل التلبُّث كثيراً، تتمثل بتخطي النواة والتعامل المباشر مع الرُزْم ضمن التطبيق¹³. إضافةً إلى ذلك، تُجزيء الكدسات تدفقات الشبكة بين نوى وحدات CPU⁸، وهذا ما يسمح للنواة التي لديها تدفق بإجراء تحديثاتٍ خاليةٍ من الأقفال ومن التنازع لتدفق حالة TCP (Transmission Control Protocol).

مع أن لتخطي طبقة الكتلة التي في النواة للنفاذ إلى التخزين فوائدٍ مماثلة للتلبُّث، فإن هناك فرقاً كبيراً بين التجهيزات الشبكية وتجهيزات التخزين: فتدفقات الشبكة مستقلةً بعضها عن بعض استقلالاً كبيراً، ويمكن معالجتها على التوازي بنوى وأرتالٍ متعددة، في حين تتشارك طلبات التخزين بركيزة مشتركة، وتتطلب درجةً معينة من التنسيق. من الممكن تجزيء كلٍ من تجهيزة التخزين المادي والمعطيات المترقّعة للتخزين (storage metadata) لإعطاء نوى CPU المنفردة النفاذ الحصري إلى معطياتٍ معيّنة، ولكن يتطلب ذلك تصميمياً دقياً لبنى المعطيات الداخلية، لم يكن مطلوباً من مُصممي التخزين ونظام الملفات سابقاً. بيّنت تجربتنا أن رماز التشبيك يتطلب غالباً بنى معطيات يجب تصميمها بحيث تراعي الأداء والتساير، في حين يُفجم رماز نظام الملفات تبعياتٍ معقّدة للمعطيات تتطلب محاكمةً دقيقةً للصحة correctness. اصطدم مصممو النُظْم في حالة تجهيزات SCM فجأةً بالحاجة إلى التعامل مع هاتين المسألتين في وقتٍ واحد.

من المعروف في مفهوم الجدولة التي محورها I/O أن من المهام الرئيسية لوحدة المعالجة المركزية في نظام التخزين، قيادة تجهيزات I/O. تتحدّد حصص الجدولة على أساس IOPS المؤدّاة، وليس على أساس دورات CPU المُستهلكة، من ثمّ لا تُطبّق طرائق الجدولة النموذجية مباشرةً. فمثلاً، تقوم سياسة جدولة موروثّة legacy شائعة على تشجيع الإنتاجية عند التحميل الخفيف، مقابل الأولويات العالية عند الانشغال وخشية تجاوز المواعيد النهائية- وهي

استراتيجية تعيق نيا سب استقصاء التجهيزات اللازمة لقيادة النظام بكل طاقته. يجب أن يكون هدف الجدولة التي محورها I/O إعطاء الأولوية للعمليات التي تقود إلى إشباع التجهيزة، وإحلال الإنصاف fairness والحد من التداخل بين الزبائن.

التصدّد الأفقي والوعي للمواضع

يُدْمَج تخزينُ مركزِ معطيات المؤسسة، في كثيرٍ من الأحيان، في مُخَدِّمٍ وحيدٍ ذي أقراصٍ عديدة، تُسمى باللهجة الدارجة مجرد حُفنة من الأقراص (JBOD (Just a Bunch Of Disks). تحتوي JBOD نموذجياً 70-80 قرصاً دوراً ويتحكم فيها مُتَحَكِّمٌ أو "رأس" وحيدٌ، وتوفّر مُخَدِّمَ تخزينٍ ذا سعةٍ عاليةٍ وأداءً منخفضٍ لباقي مركز المعطيات.

يُجَرِّدُ JBOD التخزينَ تجريباً مناسباً وراء هذا المُتَحَكِّمِ؛ يحتاج الزبون إلى إرسال الطلبات إلى الرأس فقط، دون الحاجة إلى معرفة البنيان الداخلي ومواضع المعطيات. تستطيع تجهيزة SCM منفردة أن تتفوق في الأداء على JBOD كلها، لكنها توفّر سعةً أصغر بكثير. هل تستطيع JBOD من التجهيزات SCM أن توفّر سرعةً عاليةً وسعة تخزين كبيرة لباقي مركز المعطيات؟ كيف يمكن لذلك أن يؤثر في الترابط، والقدرة الكهربائية ودرجة الانتفاع بـ CPU؟

تتطلب JBOD كاملة، ذات أقراص عرض حزمة شبكية أقل من 10G، حتى عندما تعمل بكل طاقتها. بالمقابل، تحتاج JBOD ذات تجهيزات SCM عرض حزمة شبكية 350G-400G، أو تقريباً 10 موائمت شبكية 40G. بافتراض أن كل تجهيزة SCM تستهلك 25W، فإن JBOD تستجر نحو 3000W.

من الواضح أن هذا غير عملي، ولكن أسوأ من ذلك أنه لن يكون فعالاً إلى حد بعيد. لا يُقدّر مُتَحَكِّمٌ منفردٌ قطعاً أن يتوسط النفاذ إلى عدد كبير من تجهيزات SCM في وقتٍ واحد. يتطلب القيام بذلك معالجة طلبٍ كاملٍ بـ 100 ns تقريباً— أي تلبّث النفاذ مرةً واحدةً إلى الذاكرة. وهكذا يميل المُتَحَكِّمُ المركزي إلى أن يُقلّل كثيراً الانتفاع بعنادات التخزين، موفراً عوائد استثمارٍ قليلةً لهذه التجهيزات الباهظة الثمن. لهذا نحتاج إلى منهجية مختلفة.

يتطلب توزيع النفاذ على النوى، أي وجود رؤوس متعددة، التنسيق أثناء النفاذ إلى المعطيات المترقّعة لملف النظام. تتيح الموائمت الشبكية المتعددة في JBOD نقاط نفاذٍ من بُعد متعددة، وهذا يتطلب دراية الزبائن placement-aware بأنه يمكنهم توجيه الطلبات إلى النقطة الطرفية أو الشبكية والرأس الصحيحين. في هذه النقطة، يشبه JBOD نظاماً مورّعاً، ولا فائدة تُذكر لهذا الدمج. و عوضاً عن ذلك، يُفضّل التصدّد الأفقي للآلات في الحشد، لأنه يوفّر فوائد إضافية ترتبط بالتزويد وموازنة الحمل.

بدلاً من وضع اللمسات الأخيرة على مواصفات JBOD عند بناء مركز المعطيات أول مرة، يسمح التصدّد بإضافة مخدّمات التخزين تدريجياً استجابةً للطلب. يمكن أن يؤدي ذلك إلى تحقيق وفورٍ مالية كبيرة، لأن التجهيزات المضافة تدريجياً تحصد فوائد قانون مور Moore. إضافةً إلى ذلك، ولكون هذه المخدّمات تُزوّد في رفوف، يمكن أن يُساعد الاختيار الذكي لمواضع المعطيات على تخفيف البقع الساخنة واختناقات الشبكة الموافقة لها، وهذا ما يوفّر درجة انتفاعٍ عالية بانتظام.

مع ذلك، يتطلب الحفاظ على أداءٍ عالٍ لآلات محشودة أكثر بكثير من مجرد تقليل عبء المقاطعات وزيادة التوازي. يجب مُزامنة النفاذ بعناية إلى الحالة المشتركة، مثل المعطيات المترقّعة لنظام الملفات، وقد يتطلب الأمر اتصالاتٍ إضافية لتخديم نشر الملفات الكبيرة المُمتدة على المُخدّمات المتعددة. يجب التنسيق بين الآلات المتعددة عند تحديث الملفات ومعطياتها المترقّعة لتحاكي الفساد، ويجب أن تُصعّد بنى المعطيات المساندة نفسها على النوى بأقل تنازعٍ

ممكن. تؤدي إزاحة الوحدات النمطية لحمل العمل إلى موازنة سيئة للحمل غالباً، وهذا قد يتطلب تبادل shuffling ملفات بين آلة وأخرى. واجهت نُظُم التخزين الموزعة هذه المسائل طوال سنواتٍ، ولكن المشاكل هي أعظم جدّة بكثيرٍ في حالة الأحمال الكبيرة جداً، التي يواجهها نظام تخزين المؤسسة المُعتمد على تجهيزات SCM.

التنظيم الطبقي للتخزين الواعي لحمل العمل

العلاقة بين سعة وتجهيزات SCM وأدائها علاقةً عمودية: فللمسوق الومضي بسعة 4TB مميزات الأداء نفسها لمسوق سعته 1TB أو 2TB من السلسلة نفسها. لا تتوافق متطلبات حمل العمل من حيث السعة والأداء مع قدرات العتاديات، وهذا يؤدي إلى قلة الانتفاع بالأقراص؛ فمثلاً، تُعدّ مجموعة معطيات بحجم 10TB وحمل متوقع يبلغ 500K IOPS نصف حالة راحة عندما تُخزّن جميع المعطيات في تجهيزات SCM سعته 1TB قادرة على إجراء 100K IOPS.

إضافةً إلى الهدر المالي الجلي من جرّاء قلة الانتفاع بتجهيزات SCM الباهظة، هناك قيودٌ على ترابطية مقابس المعالج تُطبّق في حالة تجهيزات SCM المُعتمدة على المسرى PCIe. إذ تتطلب تجهيزةً منفردةً منها، من أربعة إلى ثمانية مسارب PCIe، مشتركة بين كل تجهيزات I/O العالية السرعة، وهذا يحدّ عدد المسابوق التي يمكن أن يَدعّمها مقبسٌ منفرد. بالمقابل، لا تفترض المسابوق SATA، سواءً الأقراص الدوّارة أو الذاكر الومضية، الحصة نفسها quota.

ما نستخلصه هنا، أنّه من غير المجدي إلى حدّ بعيد تخزين المعطيات كلها في تجهيزات ومضية عالية السرعة، إلّا إذا كان معظم المعطيات في النظام ساخنة. مع ذلك، فإن العديد من أحمال العمل ليست ساخنةً بانتظام، بل عوضاً عن ذلك تتبع نموذجاً أقرب إلى توزيع باريتو Pareto³: حيث يتركز 80% من مجمل النفاذ إلى المعطيات في 20% من مجموعة المعطيات.

يُعدّ النظام الهجين الذي يتضمن طبقاتٍ مختلفةٍ من أوساط التخزين، ولكل طبقةٍ مميزات أداءٍ مختلفة، خياراً أفضل لخليطٍ من المعطيات الساخنة والمعطيات الباردة. تقوم التجهيزات SCM بدور الخابية للأقراص التي هي أبطأ وثملاً بالمعطيات الساخنة فقط. تتغير أنماط النفاذ مع الزمن وتحتاج إلى المراقبة بحيث يمكن للنظام أن يرفع أو يُنزل المعطيات بفعاليّة، لتتواءم مع مستوى سخونتها الحالية. عملياً، يُمكن تعقّب منحنيات معدّل عدم الإصابة miss ratio في النظام من تقدير تأثير تغيير حجم الخابية في الأداء، بدلالة أحمال عملٍ مختلفةٍ مترافقةٍ مع أعباءٍ قليلةٍ إلى حدّ ما¹⁵، و تسمح باتخاذ قراراتٍ ذات تفاصيل دقيقة fine-grained عن المكان الصائب الذي يجب أن توضع المعطيات فيه.

يُعدّ التنظيم الطبقي tiering امتداداً لآليات التخبيئة الموجودة سابقاً. يجب أن يأخذ مصمّمو النظام بالحسبان الطبقات على نحوٍ مستقل، تماماً مثل الآلات ذات الخاصية ccNUMA (cache coherent Non-Uniform Memory Access) حيث يتباين أداء الذاكر المحلية كثيراً عن أداء الذاكر البعيدة. يُمكن التنظيم الطبقي النظام من رفع قدراته وأدائه كلّ على حدة- وهذا ضرورةً للتخزين المؤسسي.

ومع أن التنظيم الطبقي له فوائد جليّة، فإنه مُفعمٌ بالتعقيدات. يُسبب الاختلاف في حُببيّة (تفاصيل دقة) (granularity) النفاذ في طبقات التخزين المختلفة عدم توافق الممانعات. فمثلاً، تتفوق التجهيزات SCM في النفاذ

³ توزيع باريتو Pareto هو توزيع احتمالي يُستعمل لوصف الظواهر الاجتماعية والعلمية والبيوفيزيائية. (المترجم)

العشوائي، في حين تتجح الأقراس الدّوّارة أكثر في أنماط النفاذ التتابعية. يمكن أن يؤدي الحفاظ على درجة من التجاور في طبقة القرص إلى "عزز" المعطيات الساخنة والمعطيات الباردة معاً في طبقة معينة.

إن عدم توافق الحُببيّة هذا ليس خاصاً بتجهيزات التخزين وحدها؛ إذ تعمل وحدات MMU والخوابي عند حُببيّات الصفحة وأسطر الخابية، من ثمّ يمكن لبابيت ساخنٍ منفردٍ أن يغرّز صفحةً بتمامها في الذاكرة أو سطرًا في الخابية. وفي حين لا توجد حلولٌ مثالية لهذه المسألة، تُقدّم المحلّيّة المكانية لأنماط النفاذ بعض المساعدة: تفسح النفاذات المتكررة التي يمكن توقُّعها قدرًا من النمذجة للمساعدة على تعرّف أحمال العمل المريضة وإصلاحها.

في النُظُم ذات التزود الملائم، يُعدُّ التنظيم الطبقي المُجرب البسيط مُجدياً على الأغلب للاستفادة من العتاديات دون تدنٍّ في الأداء. مع ذلك، قد يكون لأحمال العمل المختلفة أولوياتٍ مختلفة. في مثل هذه الحالات، يصبح قلبُ الأولويات (priority inversion) والإنصافُ fairness معيارين هامين في تحديد التوضع النسقي. يجب أن تُدعم آليات التنظيم الطبقي سياساتٍ مرنةً تمنع تداخل أحمال العمل الفعّالة ذات الأولوية المنخفضة في أحمال العمل التي تولِّدها الأعمال العظيمة الشأن (business-critical). يوجد غالباً شدٌّ بين مثل هذه السياسات والرغبة في جعل الكفاءة أعظميَّة؛ إنَّ إحلال التوازن بين هذه الهموم يجعل التنظيم الطبقي مسألةً محفوفةً بالتحديات.

المستقبل

إنّ التجهيزات PCIe SSD هي أشيع أنواع التجهيزات SCM، حصل لها بالفعل أثرٌ كبير في تصميم كلِّ من عتاديات وبرمجيات مراكز المعطيات - ولكنها بعيدة من أن تكون العنصر الوحيد في هذا الصنف من التجهيزات.

إنّ للذاكر NVDIMM مميزات أداءِ الذاكر DRAM ، وفي الوقت ذاته توفرُ المُداومة. تقوم إحدى المنهجيات الحديثة الشائعة لتصميم NVDIMM على مقابلة كمية الذاكر DRAM الموجودة على DIMM بكمية مكافئة من الذاكر الومضية. تُستعمل DRAM عندئذٍ وكأنها ذاكرة عادية، وتُترك الذاكرة الومضية جانباً كلياً إلى أن يواجه النظام فقدان القدرة. عندما تنقطع القدرة، تُستعمل مكتفةً فائقةً supercapacitor لتوفير مقدارٍ كافٍ من القدرة لترحيل المحتويات (المتلاشية) من الرام إلى الذاكرة الومضية، وهذا ما يسمح بإعادة تحميلها في الرام عندما يُعاد إقلاع النظام. تتوفر حالياً ذواكر DRAM مزودة بذاكر ومضية، وتُبدى تقاناتُ الذاكر الأحدث، مثل الذاكر المقاومة و الذاكر ذات الطور المتغير، مقدرةً على الحصول على ذواكر RAM لامتلاشية أكبر سعةً وأعلى أداءً.

كشفت هذه المجموعة البازغة من الذاكر اللامتلاشية عدم فعالية البرمجيات التي كانت محجوبةً سابقاً بمُميّزات أداء التجهيزات التي كانت تُنفذ عليها - لا نقصد الأقراس الدّوّارة فقط، بل حتى الجيل الأول من التجهيزات SSD. نعتقد أنّه كلما أصبح عدم الفعالية هذا أكثر ظهوراً (وهي على الأرجح ستكون كذلك، بسبب الوتيرة السريعة المستمرة في تحسُّن أداء التجهيزات SCM)، كان ذلك حافزاً للابتكار في تصميم نُظُم البرمجيات. يجب أن يُظهر ذلك في عدة طبقات من كدسة البنية الأساسية، حتى نتمكن من الاستفادة من مزايا التخزين اللامتلاشي السريع؛ وما نشاهده حالياً ليس إلا البداية فقط!

مقاييس حيوية متعددة الأنماط لتعزيز أمن الأجهزة المتنقلة

MULTIMODAL BIOMETRICS FOR ENHANCED MOBILE DEVICE SECURITY*

Mikhail I. Gofman, Sinjini Mitra, Tsu-Hsiang Kevin Cheng, Nicholas T. Smith

ترجمة: د. محمد سعيد دسوقي

مراجعة: د. غيداء رداوي

إنَّ دمج المعلومات المستقاة من مقاييس حيوية للعديد من الصفات يُعزِّز استيقان الأجهزة المتنقلة.

تُسرَق ملايين الأجهزة المتنقلة سنوياً، ويدخلها أرقام بطاقات ائتمان وكلمات سر ومعلومات سرية وشخصية. على مر السنين، تعلَّم المجرمون كسر كلمات السر وتزييف وسائل القياس الحيوية، وسيطروا عملياً على جميع أنواع آليات تحقُّق استيقان هوية المستعمل المصمَّمة لمنعهم من النفاذ إلى معطيات الأجهزة. من الواضح أننا نحتاج لآليات أقوى للاستيقان في الأجهزة المتنقلة.

نبين في هذا المقال كيف نعد المقاييس المتعددة الأنماط بإمكانات لم تستثمر بعد لحماية أجهزة المستهلكين المتنقلة من النفاذ غير المسموح به، وذلك بالاستفادة من نهج استيقان يعتمد على صفات جسدية وسلوكية متعددة مثل الوجه والصوت. ومع أنَّه جرى نشر المقاييس الحيوية لأغراض الأمن الوطني والعسكري وفرض القانون [15][18]، فإنَّها لا تزال غير متكاملة مع أجهزة المستهلكين المتنقلة، ولعلَّ ذلك يعود إلى تحديات محتملة في التمييز وإلى القلق من عدم تقبل

أفكار رئيسية

- تعدُّ المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط، أو تحديد الأشخاص اعتماداً على صفات جسدية وسلوكية متعددة، الخطوة المنطقية التالية على طريق استيقان أكثر أمناً ومناعة، معتمداً على المقاييس الحيوية في الأجهزة المتنقلة.
- أحرز نظام القياس الحيوي المعتمد على الوجه والصوت الذي نتناوله هنا، والمنفَّذ في هاتف سامسونغ غالاكسي Samsung Galaxy S5، دقةً في الاستيقان ضمن شروط غير مُتحكَّم بها أكبر من دقة النُّظم التي تعتمد على نمط وحيد كالوجه أو الصوت برغم استعمال صور وجوه ضعيفة الإضاءة وعينات صوتية.
- يمكن وضع مقاييس حيوية متعددة الأنماط في الأجهزة المتنقلة بحيث تكون سهلة الاستعمال للمستهلكين العاديين.

* تُنشر هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 59، العدد 4، نيسان (أبريل) 2016، الصفحات 58 – 65.

المستهلكين لهذا النهج.

نبين أيضاً أنه يمكن للمقاييس الحيوية المتعددة الأنماط أن تتكامل مع الأجهزة المتنقلة بحيث تكون سهلة الاستعمال وتحسّن أمنها تحسناً واضحاً. وهكذا، نجّزنا في عام 2015 نظام مقاييس حيوية متعدد الأنماط سميناه بروتينوس (Proteus) في جامعة ولاية كاليفورنيا، في فوليرتون، يعتمد على الوجه والصوت ضمن هاتف سامسونغ غالاكسي S5، حيث قمنا بمكاملة خوارزميات استيقان جديدة ذات مقاييس حيوية متعددة الأنماط جرى استمثالها لتناسب أجهزة المستهلكين المتنقلة التي زوّدت بواجهة تسمح للمستخدمين بتسجيل مباشر لمقاييس حيوية للعديد من الصفات. تؤكد تجاربنا أنّ هذا الأمر يحقق دقة استيقان أكبر بكثير من النظم التي تعتمد إما على الوجه أو على الصوت. تقوم الخطوة اللاحقة على مكاملة مقاييس حيوية أخرى (مثل بصمات الأصابع وقزحية العين) ضمن النظام. نأمل أن تشجع تجربتنا الباحثين ومصنعي الأجهزة المتنقلة على متابعة خط الإبداع نفسه.

المقاييس الحيوية

يُنشئ الاستيقان الذي يعتمد على المقاييس الحيوية هويةً تعتمد على خصائص جسدية وسلوكية (مثل الوجه والصوت)، مريحاً للمستخدمين بذلك من ضرورة إنشاء كلمات سر آمنة وتذكرها. في الوقت نفسه، يتحدّى المهاجمين أن يصنعوا صفات بشرية، وهو أمر ممكن وإن كان صعباً عملياً [21]. تستمر هذه الميزات بدفع تبني الاستيقان الذي يعتمد على المقاييس الحيوية في الهواتف الذكية والحواسيب اللوحية.

وعدا الجدال المثار حول نجاح الاستيقان بالمقاييس الحيوية في الأجهزة المتنقلة، هناك أيضاً أمور جوهرية عديدة، منها، على سبيل المثال، التقنيات التي تتفوق على نظم تعرف بصمات الأصابع في آيفون iPhone TouchID وسامسونغ غالاكسي S5 [2] [26]. إضافةً إلى ذلك، لا يزال المستهلكون يتدمرون من أنّ نظم المقاييس الحيوية المتنقلة الحديثة تقتصر إلى المناعة وتخفق غالباً في تعرف المستخدمين المسموح بدخولهم [4]. لكي نرى كيف يمكن للمقاييس الحيوية المتعددة الأنماط أن تساعد على مواجهة هذه الأمور، نبدأ أولاً بتفحص الأسباب الموجبة لها.

العالم المتنقل

تعدّ جودة العينة إحدى أهم مشاكل استيقان المقاييس الحيوية في الأجهزة المتنقلة. إنّ جودة عينة المقياس الحيوي - سواء كانت صورة وجه، أو تسجيلاً صوتياً، أو مسحاً لبصمة اليد - جوهرية لتحديد الهوية بدقة؛ مثلاً، فإنّ صورة وجه منخفضة الدقة، أو تسجيلاً صوتياً مصاحباً بضجيج قد يقودا خوارزمية المقياس الحيوي إلى أن تتعرف المحتال على أنه مستعملٌ صحيح، أو ما يسمى "القبول الخاطئ". كما يمكن أن تتسبباً بأن تصرّح الخوارزمية مستعملاً صحيحاً على أنه محتال، أو ما يسمى "الرفض الخاطئ". يصعب التقاط عينات عالية الجودة في الأجهزة المتنقلة خصوصاً لسببين رئيسيين. يلتقط المستعملون المتنقلون عينات المقاييس الحيوية في ظروف بيئية متنوعة تتضمن عوامل مؤثرة مثل الإضاءة غير الكافية، والوضعية المختلفة، وزوايا الكاميرا المتغيرة، وضجيج الخلفية. غالباً، تضحي حساسات المقاييس الحيوية في أجهزة المستهلكين المتنقلة بجودة العينة في سبيل المحمولية والتكلفة المنخفضة؛ مثلاً، تمنع أبعاد ماسح بصمات الأصابع في هاتف آيفون iPhone TouchID من التقاط كامل الإصبع مما يسهّل عملية التحايل [4].

يوجد تحدٍ آخر يتعلق بتدريب نظام المقياس الحيوي ليتعرف مستعمل الجهاز. تعتمد إجرائية التدريب على استخراج سمات مميزة من مجموعة من عينات المقاييس الحيوية التي يوفرها المستعملون. إنَّ زيادة عدد عينات التدريب وتنوعها يزيد من دقة التعرف. مع ذلك، عملياً، يبدو أنَّ معظم المستهلكين يدرّبون نظمهم على عدد قليل من العينات محدودة التنوع بسبب السهولة. إنَّ المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط هي المفتاح لمواجهة هذه التحديات.

المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط الواحدة

نظراً لوجود عدة أجزاء من معلومات تحديد الهوية المستقلة استقلالاً كبيراً (مثل الوجه والصوت)، يمكن أن تعالج النظم المتعددة الأنماط تحديات الأمن والمناعة التي تواجه النظم الوحيدة النمط المتقلة الحالية [13] [18] التي تحدد الأشخاص اعتماداً على خاصية مقياس حيوي واحدة. إضافةً إلى ذلك، فإنَّ نشر المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط على الأجهزة المتقلة الموجودة أمرٌ عملي؛ فالعديد منها يدعم سلفاً تعرف الوجه والصوت وبصمات الأصابع. نحتاج نهجاً منيعاً وسهل الاستعمال لتجميع هذه التقنيات. تقدّم المقاييس الحيوية في أجهزة المستهلكين المتقلة فوائد متعددة.

المزيد من أمن الهاتف المتقلّب. يمكن أن يتغلب المهاجمون على نظم المقاييس الحيوية الوحيدة النمط بتقليد مخادع لمقياس وحيد يستعمله النظام. إنَّ إنشاء هوية اعتماداً على أنماط متعددة يتحدى قدرة المهاجمين على تقليد عدة ميزات بشرية في آن واحد معاً - وهو تحدٍ أشد صعوبةً.

استيقان أكثر مناعة في الهاتف المتقلّب. عند استعمال مقاييس حيوية متعددة، يمكن أن يُستعمل أحد أنماط المقاييس للتعويض عن التقلبات وانخفاض الجودة في الأنماط الأخرى؛ مثلاً، يقدر بروتينوس جودة كلٍّ من صورة الوجه والتسجيل الصوتي ويجعل للعينات التي لها أعلى جودة تأثيراً أكبر في قرار التعرف.

بالمثل، يمكن أن تبسّط المقاييس المتعددة الأنماط إجرائية تدريب الأجهزة. وهكذا بدلاً عن أن يزود المستعملون عدة عينات تدريب من نمط واحد (كما تفرض عليهم النظم وحيدة النمط أن يفعلوا غالباً)، يمكن لهم أن يزودوا عينات أقل من أنماط متعددة. يمكن أن تتضامن معلومات التعرف هذه لضمان معطيات تدريب كافية لتعرف موثوق.

أسواق ناضجة وفيرة الفرص. برغم حداثة رواج الاستيقان بالمقاييس الحيوية في أجهزة المستهلكين المتقلة، فإن دخول المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط في سوق استهلاك الهواتف المتقلة كان محدوداً [1] [15]. يمكن أن يعزى ذلك إلى أنَّ المستعملين قد لا يشعرون بالارتياح في تسجيل عدة مقاييس حيوية، كما يمكن أيضاً أن يكون تصميم النظم المتعددة الأنماط وتجزئتها أكثر صعوبةً من تصميم النظم الوحيدة النمط وتجزئتها.

مع ذلك، وكما نشرح، فإن هذه المشاكل قابلة للحل. استثمرت شركات مثل آبل وسامسونج كثيراً في مكاملة مُجسّات المقاييس الحيوية (مثل الكاميرات وقارئ بصمات الأصابع) ضمن منتجاتها، وأصبح بإمكانها نشر المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط دون زيادة ملحوظة في تكاليف الإنتاج لديها. بالمقابل، تجني هذه الشركات فوائد من زيادة مبيعات الأجهزة بسبب زيادة أمنها ومناعتها. ناقش في الفقرات الآتية كيفية الوصول إلى هذا الأمن المريح.

دمج مقاييس الوجه والصوت الحيويين

لتوضيح فوائد المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط في أجهزة المستهلكين المتقلة، نجزنا بورتينوس باعتماد مقاييس الوجه والصوت الحيويين، وقد اخترنا هذين النمطين لأن معظم الأجهزة المتقلة تحتوي الكاميرات والمكروفونات الضرورية

لالتقاطهما. نوفر هنا لمحة عامة إلى تقنيات تعرف الوجه والصوت، يليها استعراضاً للمقاربات التي استعملناها للتوفيق بينهما.

تعرف الوجه والصوت. استعملنا في بروتينوس تقنية تعرف الوجوه المعروفة باسم FisherFaces [3]، إذ إنها تعمل جيداً في الحالات التي تكون فيها الصور ملتقطة في ظروف متغيرة، كما هو متوقع في حالة صور الوجوه المحصّلة من خلال أجهزة متنقلة. يستعمل FisherFaces شدة إضاءة البكسلات في صور الوجوه باعتبارها سمات تعرف. نخطّط في المستقبل لاستكشاف تقنيات أخرى لتعرف الوجوه، تتضمن موجات غابور (Gabor wavelets) [6] والتدرجات الموجهة بالمخطط البياني (Histogram Oriented Gradients) (HOG) [5].

استعملنا مقاربتين لتعرف الصوت: نماذج ماركوف المخفية (Hidden Markov Model) (HMM) التي تعتمد على معاملات MFCCs (Mel-Frequency Cepstral Coefficients) باعتبارها سمات للصوت [10]، وهي أساس آلية الدمج التي نتبعها على مستوى مجموع النقاط؛ والتحليل التمييزي الخطي (Linear Discriminant Analysis) (LDA) [14]، وهو أساس آلية الدمج التي نتبعها على مستوى السمات. نتعرف كلتا المقاربتين صوت مستعمل ما مهما تكن الجمل التي يتكلم بها.

تقدير جودة عينات الوجه والصوت. من المهم تقدير جودة عينة المقياس الحيوي لضمان دقة أي نظام استيقان يعتمد على المقاييس الحيوية، خصوصاً في الأجهزة المتنقلة، كما ناقشنا سلفاً. لذا يقدّر بروتينوس جودة صور الوجوه اعتماداً على الإضاءة والحدة والتباين، في حين تعتمد جودة تسجيل الصوت على نسبة الإشارة إلى الضجيج (signal-to-noise ratio) (SNR). إن مقاييس الجودة التقليدية هذه موثقة جيداً في أدبيات بحوث المقاييس الحيوية [1][17][24]. نخطّط في المستقبل لاستكشاف مقاييس وإعدادة أخرى، تتضمن توجّه الوجه (face orientation).

يحسب بروتينوس متوسط الإضاءة والوضوح والتباين في صورة وجه اعتماداً على شدة البكسلات المؤلفة لها باستعمال مقاربات موصّفة في Nasrolli و Moeslund [17]. ثم يستنظم كل قياس جودة باستعمال طريقة استنظام الحد الأدنى والحد الأعلى (min-max normalization) ليصبح بين [0, 1]، وأخيراً يحسب متوسط القياسات للوصول إلى مجموع نقاط جودة وحيد لصورة الوجه. إن تحديد أثر كل قياس جودة على معدل جودة الوجه النهائي من المسائل المثيرة للانتباه هنا؛ مثلاً، إذا كانت صورة الوجه مظلمة جداً فإن الإضاءة السيئة سيكون لها الأثر الأكبر، لأن غياب الضوء سيكون العائق الأكبر للتعرف. بالمثل، إن كانت الصورة مضاءة جيداً لكنها مشوهة بسبب ضبابية الحركة، فيكون للوضوح الأثر الأكبر.

جرى تعريف نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) باعتباره نسبة مستوى إشارة الصوت إلى مستوى إشارات الضجيج في الخلفية. للحصول على نقاط لجودة الصوت، يكيّف بروتينوس النهج الاحتمالي الموصّف في Vondasek و Pollak [25] لتقدير إشارات الصوت والضجيج، ثم يستنظم قيمة نسبة الإشارة إلى الضجيج ضمن المجال [0, 1] باستعمال استنظام الحد الأدنى والحد الأعلى.

دمج المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط. في نظم المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط، يمكن توحيد معلومات الأنماط المختلفة أو دمجها، على المستويات التالية [21]:

السمة. يجري دمج مجموعات المعطيات أو السمات الصادرة عن مُجسّات و/أو مصادر متعددة؛

مجموع نقاط المطابقة. يجري تجميع مجموع نقاط المطابقة المؤدّة من خوارزميات مطابقة الميزات المتعددة العائدة إلى مقاييس حيوية متعددة الأنماط. القرار. يجري تجميع القرارات النهائية لخوارزميات المطابقة المتعددة في قرار واحد باستعمال تقنيات مثل تصويت الأغلبية.

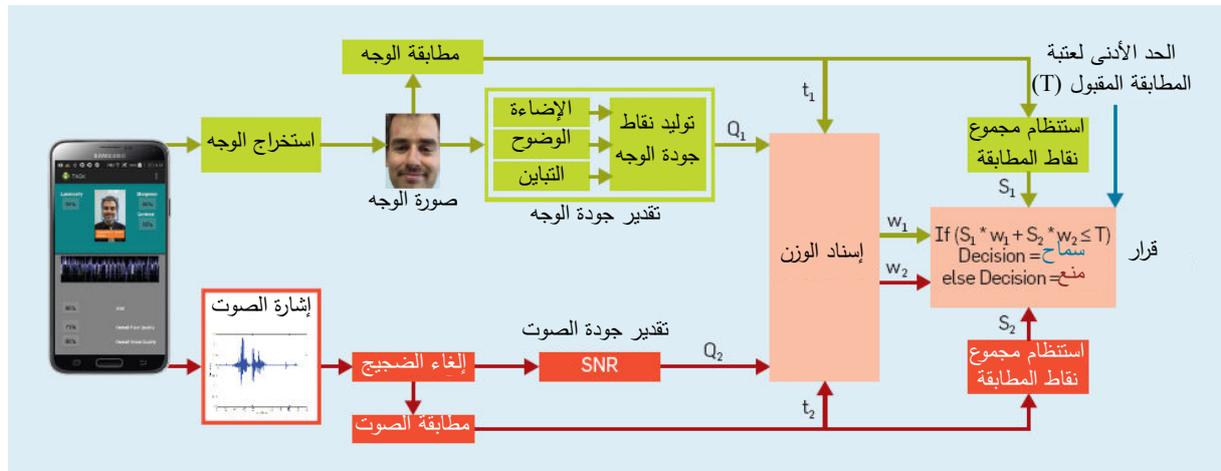
يعتقد باحثو المقاييس الحيوية أنّ مكاملة المعلومات في مراحل مبكرة من المعالجة (على مستوى السمات مثلاً) لها فاعلية أشد من مكاملتها في مرحلة لاحقة (على مستوى مجموع النقاط مثلاً) [20].

إطار عمل المقاييس الحيوية المتقلة المتعددة الأنماط

يتم دمج بروتينوس مقياسي الوجه والصوت الحيويين على مستوى مجموع النقاط أو على مستوى السمة. لمّا كان الدمج على مستوى القرار ينتج عادةً تحسناً محدوداً فقط [21]، فإننا لن ننّبعه عند تطوير بروتينوس. يقوم بروتينوس بإجراءات التدريب والاختبار باستعمال مقاطع فيديو لأشخاص يحملون كاميرا هاتفٍ موجهةً نحو وجوههم أثناء نطقهم بجملة ما. يجري اكتشاف الوجه من الفيديو بخوارزمية Viola-Jones [24] ويستخرج النظام المقطع الصوتي. يقوم النظام بإلغاء الضجيج من جميع إطارات الصوت لحذف الترددات التي تكون خارج مجال تردد صوت الإنسان (85Hz-255Hz) ويُسقط الإطارات التي لا يوجد فيها نشاط صوتي، ثم يستعمل النتائج كمدخلات لآلية الدمج الخاصة بنا.

آلية الدمج على مستوى مجموع النقاط. يظهر الشكل 1 الخطوط العريضة لنهج الدمج على مستوى مجموع النقاط الذي وضعناه، والذي يكامل مقياسي الوجه والصوت الحيويين. يجري تحديد مساهمة مجموع نقاط المطابقة لكل نمط في القرار الأخير المتعلق باستيقان مستعمل ما بحسب جودة العينة المقابلة. يعمل بروتينوس كما تبينه الخطوط العريضة المذكورة في الفقرات الآتية.

نفترض أن t_1 و t_2 تمثلان متوسطي مجموع نقاط جودة الوجه والصوت على الترتيب لعينات التدريب المأخوذة من مستعمل الجهاز. بحسب بروتينوس مجموع نقاط الجودة Q_1 و Q_2 للمقياسين الحيويين على الترتيب من سلسلة اختبار



الشكل 1. مخطط رسومي يوضح آلية الدمج على مستوى مجموع النقاط الذي يعتمد على الجودة.

فيديو، ثم تُمرر هذه المتوسطات الأربعة إلى وحدة إسناد الوزن في النظام، التي تحسب الوزنين w_1 و w_2 لنمطي الوجه والصوت على الترتيب. يُحسب كل w_i بالعلاقة $w_i = v_i / p_1 + p_2$ حيث p_1 و p_2 تقريبان مؤيدان لـ Q_1 إلى t_1 ولـ Q_2 إلى t_2 على الترتيب. يطلب النظام من المستعملين أن يدربوا في معظم الوقت باستعمال عينات جيدة، كما سنناقش لاحقاً، لذلك فإنّ قرب جودة عينات الاختبار من جودة عينات التدريب مؤشّر إلى صورة اختبار جيدة. يجري إسناد وزن أكبر إلى النمط الذي أعطى عينة أعلى جودة، وذلك لضمان مكاملة فعّالة للجودة في إجرائية الاستيقان النهائية في النظام.

من ثمّ، يحسب النظام مجموع نقاط المطابقة S_1 و S_2 ويستتظهما باستخدام خوارزميتي تعرف الوجه والصوت الموافقتين والمطبقتين على صور الاختبار وبعتماد استنظام z-score. اخترنا هذه الطريقة الخاصة لأنها طريقة استنظام شائعة الاستعمال، وسهلة التنجيز، وشديدة الفعّالية [11]. مع ذلك، نأمل في المستقبل تجريب طرائق أشد مناعةً (مثل الدالتين tanh و sigmoid). من ثمّ، يحسب النظام مجموع نقاط المطابقة العام لآلية الدمج باستعمال قاعدة المجموع الموزّن وفق الصيغة $M = S_1 w_1 + S_2 w_2$. إذا كان $T \leq M$ (T هي العتبة المختارة سلفاً)، فسيقبل النظام المستعمل باعتباره صحيحاً (موثوقاً به) وإلاّ يعدّ المستعمل شخصاً مخادعاً.

مناقشة. يُتوقع أن تكون فعّالية الآلية عظمى عندما يكون $t_1 = Q_1$ و $t_2 = Q_2$. مع ذلك، يجب أن يأخذ النظام حذره هنا لضمان تمثيل مناسب لكلا النمطين في إجرائية الدمج؛ مثلاً، إذا كان Q_2 يختلف كثيراً عن t_2 في حين أن Q_1 قريب من t_1 فسيهيمن نمط الوجه على إجرائية الاستيقان، مما يختزل الإجرائية إلى آلية وحيدة النمط تقريباً، تعتمد على المقياس الحيوي للوجه. يُتطلب هذا الأمر وجود مؤشر معتمد لكل مجموع نقاط جودة، لضمان عدم السماح بإجراء الاستيقان الذي يعتمد على الدمج، لمستعمل ما بالنفاد ما لم يتحقق المؤشر لكل مجموع نقاط. إن عدم وجود مثل هذا المؤشر قد يعرّض إجراء الاستيقان بتمامه لخطر نشاط اختراق محتمل، يتضمن محاولات متعددة لتغيير مجموع نقاط جودة نمط مقياس حيوي محدد. لذا يجب على النظام أن يضمن ألاّ ينخفض وزن كل نمط تحت عتبة معينة بحيث تبقى الآلية المتعددة الأنماط مطبّقة.

في عام 2014، اقترح باحثون في شركة IBM آلية دمج على مستوى مجموع النقاط تعتمد على المقاييس الحيوية للوجه والصوت والتوقيع من أجل أجهزة iPhone و iPad [1]. يهتم تنجيزهم بجودة التسجيلات الصوتية فقط، دون صور الوجوه، وهو أمر مختلف تماماً عن مقاربتنا التي تتضمن جودة كلا النمطين. إضافةً إلى ذلك، كان هدف هؤلاء الباحثين هو الدخول الآمن إلى مخدم بعيد، لذا فقد أوكلوا معظم مهام الحوسبة على المخدم؛ ينفذ بروتينوس جميع الحسابات مباشرةً على الجهاز المتنقل نفسه، ولكي تتناسب خوارزميته مع الموارد المحدودة على الجهاز، يجب أن يكون بروتينوس قادراً على تقليص حجم صورة الوجه ليمنع الخوارزمية من استهلاك ذاكرة الجهاز المتاحة. أخيراً، استعمل أرونوويتز (Aronowitz) وآخرون [1] سمات وجهية متعددة (مثل المخطط البياني للتدرجات الموجهة (Histogram of Oriented Gradient) (HOG) والأنماط الثنائية المحلية (Local binary patterns) (LBP))، ومع أنه يُعتقد أنها أشد مناعةً من FisherFaces، فإنها يمكن أن تكون بطيئة إلى حد التوقف عندما تُنفذ محلياً على جهاز متنقل، ونحن نخطط لتقصي الأمر باستعمال ميزات وجهية متعددة في المستقبل.

آلية الدمج على مستوى السمة. تفترض معظم آليات الدمج على مستوى السمة أن الأنماط التي سيجري دمجها متوافقة فيما بينها (كما ورد في كيسكو Kisku وآخرون [12] وفي روس Ross وغوفيندارجان Govindarjan [20])؛ أي إنّ سمات الأنماط تُحسب بأسلوب مماثل، اعتماداً على المسافة مثلاً. يشكّل دمج نمطي الوجه والصوت على

مستوى السمة تحدياً لأن هذين المقياسين الحيويين غير متوافقين: فسمات الوجه هي حدة البكسلات وسمات الصوت هي معاملات MFCCs. أما التحدي الآخر في الدمج على مستوى السمة فيمكن في مشكلة الأبعاد التي تظهر عندما تصبح أشعة السمات المدمجة ضخمة جداً. تصدينا لكلا التحديين في مقارنة تحليل التمييز الخطي (LDA). إضافةً إلى ذلك، لاحظنا أن هذه المقارنة تتطلب معطيات تدريب أقل من الشبكات العصبونية ونماذج ماركوف المخفية، التي سبق أن جربناها.

تعمل الإجرائية (انظر الشكل 2) كما يلي:

المرحلة 1 (استخراج سمة الوجه). تُطبَّق خوارزمية بروتويوس تحليل المكونات الرئيسية (Principal

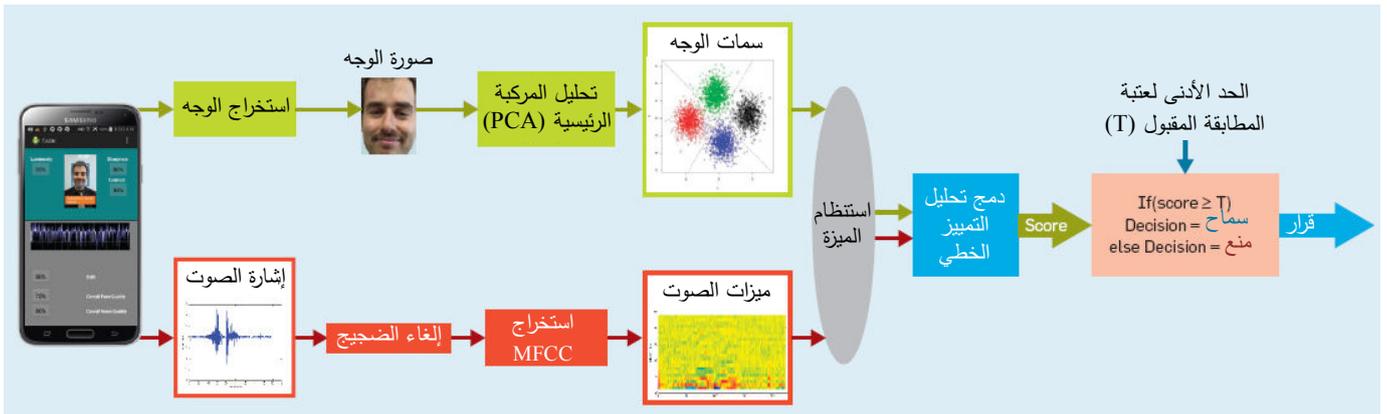
Components Analysis PCA) على مجموعة سمات الوجه لاختيار السمة؛

المرحلة 2 (استخراج سمة الصوت). تُستخرج مجموعة من معاملات MFCC من كل إطار صوتي جرت

معالجته سلفاً وتمثلها في شكل مصفوفي، حيث يُستعمل سطر لكل إطار، وعمود لكل فهرس من معاملات MFCC.

لتقليص أبعاد مصفوفة MFCC، تستعمل وسطيات أعمدة المصفوفة كشعاع سمة الصوت؛

المرحلة 3 (دمج سماتي الوجه والصوت). لما كانت الخوارزمية تقيس سماتي الوجه والصوت باستعمال وحدات



الشكل 2. دمج على مستوى السمة يعتمد على تحليل التمييز الخطي.

مختلفة، فإنها تعابرها معياراً مستقلة باستعمال طريقة استنظام z-score كما في الدمج على مستوى مجموع النقاط، ثم تضم هاتين السمتين المستنظمتين لتشكل شعاع سمةً واحداً كبيراً. إذا كان لدينا N سمة وجه و M سمة صوت، فيسكون لدينا N+M سمة في المجموعة المضمومة أو المدمجة. من ثم تستعمل الخوارزمية تحليل التمييز الخطي لاختيار سمة من مجموعة السمات المدمجة. يساعد هذا الأمر على التصدي لمشكلة الأبعاد وذلك بحذف السمات غير المفيدة من المجموعة المركبة؛

المرحلة 4 (الاستيقان). تستعمل الخوارزمية المسافة الإقليدية لتحديد درجة التشابه بين مجموعات السمات

الدمجة من معطيات التدريب وكل عينة من عينات الاختبار. إذا كانت قيمة المسافة أقل أو تساوي عتبة محددة سلفاً،

فهي تقبل الشخص المعني بالاختبار باعتباره مستعملاً صحيحاً (موتوقاً به)، وإلا يُعدُّ المستعمل شخصاً مخادعاً.

النتيجة

نَجَزْنَا مقارنتي الدمج على مستوى مجموع النقاط وعلى مستوى السِمة المعتمدتان على الجودة على هاتف سامسونج غالاكسي (Samsung Galaxy S5) جرى اختياره عشوائياً. كانت سهولة الاستعمال وسرعة التنفيذ هي المبادئ الموجهة لنا.

واجهة المستعمل. كانت الأولوية الأولى لدينا عند تصميم الواجهة هي أن نضمن أن يستطيع المستعملون النقاط المقاييس الحيوية للوجه والصوت في آنٍ واحدٍ معاً بسلاسة. لذا اعتمدنا حلاً يطلب من المستعملين تسجيل فيديو قصير لوجوههم أثناء تفوهمهم بجملة بسيطة. إن النموذج المخبري الذي أعدناه لواجهة الاستعمال البيانية (انظر الشكل 3) يعطي المستعملين تغذية راجعةً بالزمن الحقيقي بخصوص مقاييس الجودة المتعلقة بوجوههم وأصواتهم، موجهاً لهم لالتقاط العينات ذات الجودة الفضلى الممكنة. مثلاً، إذا كانت الإضاءة في الفيديو تختلف كثيراً عن متوسط إضاءة الصور في

قاعدة معطيات التدريب، فقد يحصل المستعمل على رسالة تقول، "اقتراح: ارفع الإضاءة". عدا سهولة استعمال الفيديو، فهو يسهل أيضاً مكاملة سمات أمنية أخرى (مثل التحقق من الحياة [7]) وتوافق حركة الشفاه مع الكلام [8].

لضمان سرعة الاستيقان، يجري تنفيذ خوارزميتي استخراج سمات الوجه والصوت في بروتينوس على التوازي على نواتي معالج مختلفتين؛ يتضمن Galaxy S5 أربع نوى. يستعمل بروتينوس أيضاً تقنيات برمجة متوازية مشابهة، للمساعدة في ضمان استجابة واجهات المستعمل البيانية.

أمن معطيات المقاييس الحيوية.

المخاطرة العظيمة من خزن معطيات المقاييس الحيوية على جهاز متنقل (يخزن بروتينوس المعطيات من مقاييس حيوية متعددة) في احتمال أن يسرقها المهاجمون ويستعملوها لانتحال شخصية مستعمل صحيح (موثوق به). لذا يجب أن يخزن بروتينوس معطيات المقاييس الحيوية ويعالجها على نحو آمن.

يخزن التنجيز الحالي معاملات MFCC و PCA فقط على ذاكرة الجهاز الدائمة، دون المعطيات الخام للمقاييس الحيوية، مما يجعل من غير البديهي اشتقاق معطيات مقاييس حيوية مفيدة منها [16]. يمكن أن يحسن بروتينوس الأمن تحسناً ملحوظاً باستعمال قوالب للمقاييس الحيوية قابلة للإلغاء [19] وبتشفير معطيات المقاييس



الشكل 3. واجهة المستعمل البيانية التي استعملت للتفاعل مع بروتينوس.

الحيوية و تخزينها ومعالجتها في بيئة تنفيذ موثوقة (Trusted Execution Environment) وعلى عتاد، منيعة من العبث ومعزولة عن بقية برمجيات وعتاد الجهاز؛ يستعمل Galaxy S5 هذه المقاربة لحماية معطيات بصمات الأصابع [22]. إن تخزين معطيات المقاييس الحيوية ومعالجتها على الجهاز المتقل نفسه بدلاً من تحميل هذه المهام على مخدّم بعيد، يلغي التحدي المتعلق بنقل معطيات المقاييس الحيوية على نحو آمن وقرارات الاستيفان من خلال شبكات يحتمل ألا تكون آمنة. إضافةً إلى ذلك، فإن هذه المقاربة تخفّف من قلق المستهلكين بخصوص أمن معطيات المقاييس الحيوية الخاصة بهم وخصوصيتها وإساءة استعمالها عند نقلها من الأنظمة البعيدة وإليها .

تقييم الأداء

قارنًا دقة التعرف في بروتينوس بأنظمة وحيدة النمط تعتمد على المقاييس الحيوية للوجه والصوت. قسنا تلك الدقة باستعمال مقياس معدّل الخطأ في المساواة (equal error rate EER) المعياري، أو القيمة التي يتساوى عندها معدل قبول الخطأ (false acceptance rate FAR) مع معدل رفض الخطأ (false rejection rate FRR). لذا، يجب وضع آليات تسمح بخزن ومعالجة آمنين لمعطيات المقاييس الحيوية.

قاعدة المعطيات. بغرض تنفيذ تجاربنا أنشأنا قاعدة معطيات متعددة الأنماط محلية اسمها CSUF-SG5 تتضمن عينات وجوه وأصوات جرى تجميعها من طلاب وموظفي جامعة كاليفورنيا في فوليرتون، ومن أشخاص من خارج الجامعة يستعملون Galaxy S5 (من هنا جاء الاسم). ولتضمن أنواع مختلفة ومستويات من التنوع والتشويه في العينات، قمنا بتجميعها في ظروف متنوعة في العالم الحقيقي. ولمّا كنا ننتقل إلى وجود قاعدة معطيات متنوعة من المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط مثل هذه، فإننا نخطط لإتاحة هذه القاعدة الخاصة بنا للعموم. تحتوي القاعدة اليوم تسجيلات فيديو لـ 54 شخصاً من الجنسين ومن أعراق مختلفة يحملون كاميرا هاتف في مواجهة وجوههم وهم يتفوهون بجملة بسيطة.

تظهر الوجوه في هذه الفيديوهات التنوعات التالية:

أربعة تعابير. خالٍ من التعابير، سعيد، حزين، غاضب، خائف؛

ثلاثة أوضاع. في المواجهة، وجانبي (من اليمين واليسار)؛

شرطاً إضاءة. ظلال منتظمة وجزئية.

تُظهر عينات الصوت مستويات مختلفة من الضجة في الخلفية، من حركة السيارات إلى الموسيقى إلى المحادثة بين الأشخاص، مقرونة بتشوهات في الصوت نفسه (مثل الحشرجة). استعملنا 20 جملةً شهيرةً مختلفةً، تتضمن "Roses are red" و"Football" و"13".

النتائج. درينا في تجاربنا خوارزميات دمج الوجه والصوت الخاصة ببروتينوس باستعمال فيديوهات لنصف الأشخاص الموجودين في قاعدة المعطيات الخاصة بنا (27 شخصاً من إجمالي 54)، في حين أخذنا جميع الأشخاص بالحسبان عند الاختبار. قمنا بتجميع معظم فيديوهات التدريب في ظروف متحكم بها تتوفر فيها إضاءة جيدة ومستويات منخفضة من الضجة في الخلفية وبحيث تكون الكاميرا محمولة مباشرةً في مواجهة وجه الشخص. في حالة هؤلاء الأشخاص، أضفنا أيضاً بعض عينات الوجوه والأصوات من فيديوهات ذات جودة أقل من مثالية (لمحاكاة التنوع المحدود لعينات التدريب التي يُتوقع أن يوفرها مستهلك نموذجي) لزيادة حظوظ الخوارزمية في التعرف الصحيح للمستعمل في ظروف مشابهة. استعملنا إجمالاً ثلاثة إطارات للوجوه وخمسة تسجيلات للصوت لكل شخص (جرى استخراجها من

الفيديو) كعينات تدريب. قمنا بالاختبار باستعمال عينة وجه وصوت اختيرت عشوائياً من شخص اخترناه عشوائياً من بين 54 شخصاً في قاعدة المعطيات، مبتعدين عن عينات التدريب. بالمجمل، قام الأشخاص لدينا بإنتاج 480 تركيباً للتدريب ولمجموعة الاختبار واستعملوها، وقمنا بحساب متوسط معدلات الخطأ في المساواة EER وأزمة الاختبار لها. اعتمدنا نهج التحقق التبادلي الإحصائي هذا لتقييم فعالية المقاربة التي اقترحناها للتحقق من صلاحيتها اعتماداً على قاعدة المعطيات المتاحة المكونة من 54 شخصاً محتملاً.

دمج على مستوى مجموع النقاط تعتمد على الجودة. يسرد الجدول 1 متوسط معدلات الخطأ في المساواة وأزمة الاختبار من الآليات الوحيدة النمط والمتعددة الأنماط. نفسر حصولنا على معدل خطأ كبير في المساواة في خوارزمية نماذج ماركوف المخفية لتعرف الصوت بوجود إشارات ضجيج معقدة في عدد من عيناتنا تتضمن حركة السيارات وحديث الناس والموسيقى، والتي كان يصعب اكتشافها وحذفها. اكتشفت آلية الدمج على مستوى مجموع النقاط المعتمدة على الجودة التي تبينها مستويات SNR منخفضة وتلافت ذلك بتعديل الأوزان لمصلحة صور الوجه، لذلك فإن أثر المقياس الحيوي للوجه أكبر من المقياس الحيوي للصوت في القرار النهائي لتحديد فيما إذا كان مستعمل ما صحيحاً.

الجدول 1. نتائج معدل الخطأ في المساواة في حالة الدمج على مستوى مجموع النقاط.

النمط	معدل الخطأ في المساواة	زمن الاختبار (بالثواني)
الوجه	27.17%	0.065
الصوت	41.44%	0.045
الدمج على مستوى مجموع النقاط	25.70%	0.108

في المشهد المعاكس، عندما كانت عينات الصوت أفضل نسبياً من عينات الوجه، كما في الجدول 1، كانت معدلات الخطأ في المساواة 21.25% و 20.83% للصوت وحيد النمط ولدمج على مستوى مجموع النقاط، على الترتيب. تعدّ هذه النتائج واعدة، لأنها تبين أنّ جودة الأنماط المختلفة يمكن أن تتغير تبعاً للظروف التي قد يجد فيها المستعملون المتنقلون أنفسهم. كما تبين أيضاً أنّ بروتينوس يتكيف مع الظروف المختلفة بتوسيع أوزان الجودة توسيعاً مناسباً. يمكن أن تعطي الطريقة المتعددة الأنماط دقة أفضل إذا أضيفت تحسينات تفصيلية إضافية (مثل تقنيات استنظام أشد مناعة).

الدمج على مستوى السمة. يلخص الجدول 2 نتائج الأداء التي حصلنا عليها من آلية الدمج على مستوى السمة، مظهراً أنّ الدمج على مستوى السمة يعطي دقة أكبر بكثير في الاستيقان مقارنةً بالآليات الوحيدة النمط. تبرز تجاربنا بوضوح قدرة المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط على تحسين دقة الاستيقان الحالي الذي يعتمد على المقاييس الحيوية الوحيدة النمط على الأجهزة المتحركة؛ زيادةً على ذلك، وتبعاً لسرعة النظام في تعرف مستعمل صحيح، فإنّ مقارنة بروتينوس قابلة للتوسع إلى أجهزة المستهلكين المتحركة. هذه هي المحاولة الأولى لتحفيز نوعين من آليات الدمج على جهاز مستهلك متنقل حديث مع معالجة الأمور العملية الخاصة بسهولة الاستعمال. نحن نعمل على تحسين الأداء والفعالية لآلية الدمج، والطريق إلى الأمام يعد بفرص لا حدود لها.

الجدول 2. نتائج معدل الخطأ في المساواة في حالة الدمج على مستوى السمة.

النمط	معدل الخطأ في المساواة	زمن الاختبار (بالثواني)
الوجه	4.29%	0.13
الصوت	34.72%	1.42
الدمج على مستوى السمة	2.14%	1.57

الخلاصة

المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط هي الخطوة المنطقية التالية في استيقان المقاييس الحيوية للأجهزة المتنقلة الخاصة بالمستهلكين. لا يزال التحدي في جعل المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط قابلة للاستعمال لدى مستخدمي الأجهزة المتنقلة السائدة موجوداً، إلا أن العمل على إضافة المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط إليها كان قليلاً. عملنا هو الخطوة الأولى في هذا الاتجاه.

تخيل جهاز متنقلاً يمكنك فك قفله باستعمال تراكيب من الوجه والصوت وبصمات الأصابع والأذان والقزحية وشبكية العين. تُقرأ كل هذه المقاييس الحيوية بخطوة واحدة مشابهة لنظام بصمات الأصابع TouchID الخاص بهاتف iPhone. تستعمل هذه الواجهة السهلة الاستعمال منطق دمج منيع يعتمد على جودة عينة المقياس الحيوي ويجعل فرصة التعرف الصحيح بمستعمل الجهاز عظمى. لن تكون الأصابع المتسخة والإضاءة الضعيفة أو الإعدادات العالية والأضرار في محسات المقاييس الحيوية عائقاً؛ إذا أخفق أحد المقاييس الحيوية، تعمل البقية كبداية احتياطية. يجب على المخترقين الآن أن يتمكنوا من النفاذ إلى الأنماط المتعددة المطلوبة لفك قفل الجهاز؛ ولأن هذه الأنماط مقاييس حيوية فلا يملكها إلا المالك الصحيح للجهاز. تستعمل الجهاز أيضاً قوالب مقاييس حيوية قابلة للإلغاء، وتشفيراً قوياً، وبيئة تنفيذ موثوقة لخرن معطيات المقاييس الحيوية ومعالجتها على نحو آمن.

ترفع آلية المقاييس الحيوية المتعددة الأنماط في بروتينوس من الإمكانيات الموجودة في عتاد الأجهزة المتنقلة (مثل تسجيل الفيديو)، إلا أن العتاد والبرمجيات المتنقلة غير مجهزة لمعالجة تراكيب من المقاييس الحيوية أكثر تعقيداً؛ مثلاً، تفترق أجهزة المستهلكين المتنقلة السائدة إلى محسات قادرة على تحصيل موثوق للمقاييس الحيوية الخاصة بالقزحية وشبكية العين بأسلوب سهل الاستعمال لدى المستهلكين. لذا، نحن نعمل على تصميم وبناء جهاز تتمتع بعتاد وبرمجيات فعالة وسهلة الاستعمال ورخيصة لدعم مثل هذه التراكيب. نخطط لمكاملة مقاييس حيوية جديدة في آلية الدمج الحالية الخاصة بنا، ولتصميم واجهات مستعمل تسمح بالانتقال السلس والمتزامن لمقاييس حيوية متعددة. إن تركيب واجهة مستعمل سهلة الاستعمال مع خوارزميات دمج منيع متعدد الأنماط يمكن أن يسم عهداً جديداً في استيقان الأجهزة المتنقلة الخاصة بالمستهلكين.

المؤلفون

ميخائيل غوفمان Mikhail Gofman (mgofman@fullerton.edu) أستاذ مساعد في قسم علوم الحاسوب في جامعة ولاية كاليفورنيا في فوليرتون (California State University, Fullerton) ومدير مركز الأمن المعلوماتي (Center for Cybersecurity) فيها.

سينجيني ميترا Sinjini Mitra (smitra@fullerton.edu) أستاذ مساعد في نظم المعلومات وعلوم القرار في جامعة ولاية كاليفورنيا في فوليرتون.

المراجع

- [1] Aronowitz, H., Min L., Toledo-Ronen, O., Harary, S., Geva, A., Ben-David, S., Rendel, A., Hoory, R., Ratha, N., Pankanti, S., and Nahamoo, D. Multimodal biometrics for mobile authentication. In *Proceedings of the 2014 IEEE International Joint Conference on Biometrics* (Clearwater, FL, Sept. 29–Oct. 2). IEEE Computer Society Press, 2014, 1–8.
- [2] Avila, C.S., Casanova, J.G., Ballesteros, F., Garcia, L.R.T., Gomez, M.F.A., and Sierra, D.S. *State of the Art of Mobile Biometrics, Liveness and Non-Coercion Detection*. Personalized Centralized Authentication System Project, Jan. 31, 2014; <https://www.pcasproject.eu/images/Deliverables/PCAS-D3.1.pdf>
- [3] Belhumeur, P.N., Hespanha, J.P., and Kriegman, D. Eigenfaces vector vs. FisherFaces: Recognition using class-specific linear projection. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 19, 7 (July 1997), 711–720.
- [4] Bonnington, C. The trouble with Apple's Touch ID fingerprint reader. *Wired* (Dec. 3, 2013); <http://www.wired.com/gadgetlab/2013/12/touch-id-issues-and-fixes/>
- [5] Dalal, N. and Triggs, B. Histograms of oriented gradients for human detection. In *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (San Diego, CA, June 20–25). IEEE Computer Society Press, 2005, 886–893.
- [6] Daugman, J.G. Two-dimensional spectral analysis of cortical receptive field profiles. *Vision Research* 20, 10 (Dec. 1980), 847–856.
- [7] Devine, R. Face Unlock in Jelly Bean gets a 'liveness check.' *AndroidCentral* (June 29, 2012); <http://www.androidcentral.com/face-unlock-jelly-bean-gets-liveness-check>
- [8] Duchnowski, P., Hunke, M., Busching, D., Meier, U., and Waibel, A. Toward movement-invariant automatic lipreading and speech recognition. In *Proceedings of the 1995 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing* (Detroit, MI, May 9–12). IEEE Computer Society Press, 1995, 109–112.
- [9] Hansen, J.H.L. Analysis and compensation of speech under stress and noise for environmental robustness in speech recognition. *Speech Communication* 20, 1 (Nov. 1996), 151–173.
- [10] Hsu, D., Kakade, S.M., and Zhang, T. A spectral algorithm for learning hidden Markov models. *Journal of Computer and System Sciences* 78, 5 (Sept. 2012), 1460–1480.
- [11] Jain, A.K., Nandakumar, K., and Ross, A. Score normalization in multimodal biometric systems. *Pattern Recognition* 38, 12 (Dec. 2005), 2270–2285.
- [12] Kisku, D.R., Gupta, P., and Sing, J.K. Feature-level fusion of biometrics cues: Human identification with Dodingtons Caricature. *Security Technology* (2009), 157–164.
- [13] Kuncheva, L.I., Whitaker, C.J., Shipp, C.A., and Duin, R.P.W. Is independence good for combining classifiers? In *Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition* (Barcelona, Spain, Sept. 3–7). IEEE Computer Society Press, 2000, 168–171.
- [14] Lee, C. Automatic recognition of animal vocalizations using averaged MFCC and linear discriminant analysis. *Pattern Recognition Letters* 27, 2 (Jan. 2006), 93–101.
- [15] M2SYS Technology. SecuredPass AFIS/ABIS Immigration and Border Control System; <http://www.m2sys.com/automated-fingerprint-identification-system-afis-border-control-and-border-protection/>
- [16] Milner, B. and Xu, S. Speech reconstruction from melfrequency cepstral coefficients using a source-filter model. In *Proceedings of the INTERSPEECH Conference* (Denver, CO, Sept. 16–20). International Speech Communication Association, Baixas, France, 2002.
- [17] Nasrollahi, K. and Moeslund, T.B. Face-quality assessment system in video sequences. In *Proceedings of the Workshop on Biometrics and Identity Management* (Roskilde, Denmark, May 7–9). Springer, 2008, 10–18.
- [18] Parala, A. UAE Airports get multimodal security. *FindBiometrics Global Identity Management* (Mar. 13, 2015); <http://findbiometrics.com/uae-airports-get-multimodal-security-23132/>
- [19] Rathgeb, C. and Andreas U. A survey on biometric cryptosystems and cancelable biometrics. *EURASIP Journal on Information Security* (Dec. 2011), 1–25.
- [20] Ross, A. and Govindarajan, R. Feature-level fusion of hand and face biometrics. In *Proceedings of the Conference on Biometric Technology for Human Identification* (Orlando, FL). International Society for Optics and Photonics, Bellingham, WA, 2005, 196–204.
- [21] Ross, A. and Jain, A. Multimodal biometrics: An overview. In *Proceedings of the 12th European Signal Processing Conference* (Sept. 6–10). IEEE Computer Society Press, 2004, 1221–1224.
- [22] Sacco, A. Fingerprint faceoff: Apple TouchID vs. Samsung Finger Scanner. *Chief Information Officer* (July 16, 2014); <http://www.cio.com/article/2454883/consumer-technology/fingerprint-faceoff-apple-touchid-vs-samsung-finger-scanner.html>
- [23] Tapellini, D.S. Phone thefts rose to 3.1 million last year. *Consumer Reports* finds industry solution falls short, while legislative efforts to curb theft continue. *Consumer Reports* (May 28, 2014); <http://www.consumerreports.org/cro/news/2014/04/smartphone-thefts-rose-to-3-1-million-last-year/index.htm>
- [24] Viola, P. and Jones, M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (Kauai, HI, Dec. 8–14). IEEE Computer Society Press, 2001.
- [25] Vondrasek, M. and Pollak, P. Methods for speech SNR estimation: Evaluation tool and analysis of VAD dependency. *Radioengineering* 14, 1 (Apr. 2005), 6–11.
- [26] Zorabedian, J. Samsung Galaxy S5 fingerprint reader hacked—It's the iPhone 5S all over again! *Naked Security* (Apr. 17, 2014); <https://nakedsecurity.sophos.com/2014/04/17/samsung-galaxy-s5-fingerprint-hacked-iphone-5s-all-over-again/>

تحسين استعمالية الواجهات البرمجية للتطبيقات

IMPROVING API USABILITY*

Brad A. Myers, Jeffrey Stylos

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

إن بإمكان التصميم الذي يركز على الإنسان أن يجعل الواجهات البرمجية للتطبيقات أيسر استعمالاً للمطوّرين.

تكاد الواجهات البرمجية للتطبيقات (APIs) (application programming interfaces)، ومنها المكتبات (libraries) وإطارات العمل (frameworks) وأطقم الأدوات (toolkits) وأطقم تطوير البرمجيات (software development kits)، أن تكون عملياً أداة مستعملة في جميع الأرمزة (codes). ولو جمعنا واجهات APIs الداخلية (أي التي هي من ضمن المشروعات البرمجية) وواجهات APIs العمومية (public) (من مثل: Java Platform SDK و Windows .NET Framework و jQuery for JavaScript، وخدمات الوب من قبيل Google Maps) معاً، لقلنا إن كل سطرٍ من الرماز تقريباً يكتبه معظم المبرمجين بات يستعمل استدعاءات الواجهات البرمجية للتطبيقات (API calls). وتوفّر الواجهات API آليةً لإعادة استعمال الرماز (code reuse) بحيث يستطيع المبرمجون متابعة ما بدأه غيرهم (أو هم أنفسهم)، بدلاً من البدء من الصفر مع كل برنامج. زد على ذلك أن استعمال هذه الواجهات كثيراً ما يكون أمراً لازماً، لأن النفاذ المنخفض المستوى (low-level access) إلى موارد النظم (كالبيانات (graphics) والتشبيك (networking) ونظام

فكر مفتاحية

- تستعمل البرمجيات الحديثة كافة واجهات التطبيقات البرمجية استعمالاً كثيفاً، ومع ذلك فقد يجد المبرمجون هذه الواجهات صعبة الاستعمال. وينجم عن ذلك أخطاء ومواطن ضعف في الفاعلية.
- ثمة ضروبٌ شتى من نتائج البحوث العلمية والأدوات والطرائق متاحة على نطاق واسع لتحسين استعمالية الواجهات البرمجية للتطبيقات.
- إن تقويم هذه الواجهات وتصميمها بأخذ مستعمليها في الحسبان دوماً قد يفضي إلى تقليص عدد الأخطاء، وزيادة الفاعلية والجودة ومستوى الأمن.

* تُشير هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 6، حزيران (يونيه) 2016، الصفحات 62 – 69.

الملفات) غير متاح إلا عن طريق واجهات API محمية. وتتحو المؤسسات اليوم أكثر فأكثر إلى توفير معطياتها الداخلية على الوب بواسطة واجهات API عمومية؛ فمثلاً، يعطي الموقع <http://www.programmableweb.com> لائحة بقرابة 15,000 واجهة API لخدمات الوب، ويروج الموقع <https://www.digitalgov.gov/2013/04/30/apis-in-government/> لاستعمال المعطيات الحكومية عن طريق واجهات API على الوب.

وثمة سوقٌ منوسعةٌ باطراد لشركات وبرمجيات وخدمات تساعد المؤسسات على توفير الواجهات API؛ فقد قامت إحدى هذه الشركات، وهي Apigee Corporation (<http://apigee.com/>)، باستطلاع حالة منتي مدير تنفيذي للتسويق والتقانة المعلوماتية في شركات أمريكية زادت عوائدها السنوية على 500 مليون دولار عام 2013. وجاءت نسبة 77% من ردود المستطلعين تصنف الواجهات API على أنها «ضرورية» لجعل نظمهم ومعطياتهم متاحة للشركات الأخرى، ونسبة 1% فقط تصنف هذه الواجهات على أنها «غير ضرورية على الإطلاق»¹² ويذكر أن شركة Apigee قدّرت عوائد السوق الكلية عن البرمجيات الوسطى (middleware) بـ 5.5 بليون دولار في عام 2014.

على أن الواجهات API غالباً ما تكون صعبة الاستعمال؛ إذ كثيراً ما يقضي مبرمجون من مختلف المستويات، من المبتدئين إلى الخبراء، قسطاً مهماً من أوقاتهم في تعلم واجهات API جديدة. ثم إن هذه الواجهات كثيراً ما تستعمل بصورة خاطئة تقضي إلى حدوث عثرات (bugs)، وأحياناً إلى مشكلات أمنية ذات بال⁷. وفي حين يجب أن تحقق الواجهات API الوظيفية (functionality) اللازمة، فإن تصميمها - حتى عندما تحقق تلك الوظيفية - قد يجعلها غير قابلة للاستعمال. ولما كانت الواجهات API تمثل واسطة التخاطب بين المطورين من البشر والرمز الذي يتولى تجيز الوظيفية، فإن من الممكن اعتماد مبادئ وطرائق مستمدة من تفاعل الإنسان مع الحاسوب (HCI) (human-computer interaction) بغية تحسين الاستعمالية (قابلية الاستعمال) (usability). وتشتمل «الاستعمالية»، بحسب سياق تناولها هنا، على مجموعة من الخصائص، لا مجرد قابلية تعلم المطورين غير الملمين بواجهة برمجية للتطبيقات، بل أيضاً على الفعالية والجدوى ودرجة الصحة والضبط عندما يستعملها الخبراء. تُعرّف هذه الخاصية أحياناً باسمها المختصر «DevX» أو خبرة المطور، قياساً على «UX» أو خبرة المستعمل (user experience). لكن الاستعمالية تشمل أيضاً توفير الوظيفية الملائمة ووسائل النفاذ إليها. وقد بيّن الباحثون كيف يمكن استثمار التقنيات التي محورها الإنسان، ومنها: دراسات ميدانية في الاستعلام السياقي (contextual inquiry field studies) ودراسات في المدونات (corpus) ودراسات مستعملي المختبرات (laboratory) وقيود الأعمال (logs) من تجارب ميدانية، في تحديد المتطلبات الفعلية للواجهات API لكي تحقق وظيفيتها الصحيحة.²¹ وتركز بحوث أخرى على النفاذ إلى تلك الوظيفية، فتعرض مثلاً أنماطاً برمجية في الواجهات API تكون مشكلة على المستعمل؛^{6,10,25} وإرشادات دليلية يمكن استعمالها في تقويم تصاميم الواجهات API،^{4,8} التي يقوم بعضها بوسائل مؤتمنة؛^{18,20} وتعديلات مخففة لتحسين الاستعمالية عندما تتطلب الاعتبارات الأخرى إجراءات توازنات (trade-offs).^{15,23} وعلى سبيل المثال، خلصت دراسة أجراها مختبرنا الصغير عام 2008 إلى أن مستعملي الواجهات API كانوا أسرع أداءً بـ 2.4 - 11.2 مرة حينما كانت الطريقة المستعملة على الصف (class) المتوقع، لا على صف مختلف.²⁵ لاحظ أننا لا نقول بأن الاستعمالية يجب أن تغطي دوماً على الاعتبارات الأخرى لدى تصميم واجهة برمجية للتطبيقات، بل أن على مصممي هذه الواجهات إضافة الاستعمالية باعتبارها جملة معايير صريحة للتصميم والتقويم، بحيث يأمنون إنشاء واجهة API غير قابلة للاستعمال سهواً. وعليهم، حتى عندما يقومون - عمداً - بتخفيض الاستعمالية لمصلحة معايير أخرى، أن يفعلوا ذلك عن دراية، وأن يوفرُوا تعديلات تشمل توثيقاً محدداً ودعمًا بالأدوات.

وما برح المطورون يصممون واجهات API منذ عقود، لكن الكثير منها كان صعب الاستعمال بسبب غياب البحث التجريبي على استعمالياتها. وتبين أن بعض توصيات التصميم، الصادرة عن حُسن نية، كان خاطئاً لهذا السبب. وظهرت في أواخر تسعينيات القرن العشرين اهتمامات متفرقة باستعمالية الواجهة API، لكن أول نشاطٍ بحثيٍّ ملحوظٍ في هذا المضمار ظهر في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، وأبرزه على وجه الخصوص ما قامت به مجموعة Microsoft Visual Studio للاستعمالية،⁴ وانتهى إلى لقاءٍ ضمَّ ثلثةً من الباحثين جمعتهم مقاصد وتوجهات مشتركة، وتمكّنوا في عام 2009 من إطلاق موقعٍ "استعمالية الواجهات البرمجية للتطبيقات" على الوب (<http://www.apiusability.org>)، وما زال هذا الموقع خزانةً (repository) لمعلوماتٍ استعماليةٍ هذه الواجهات.

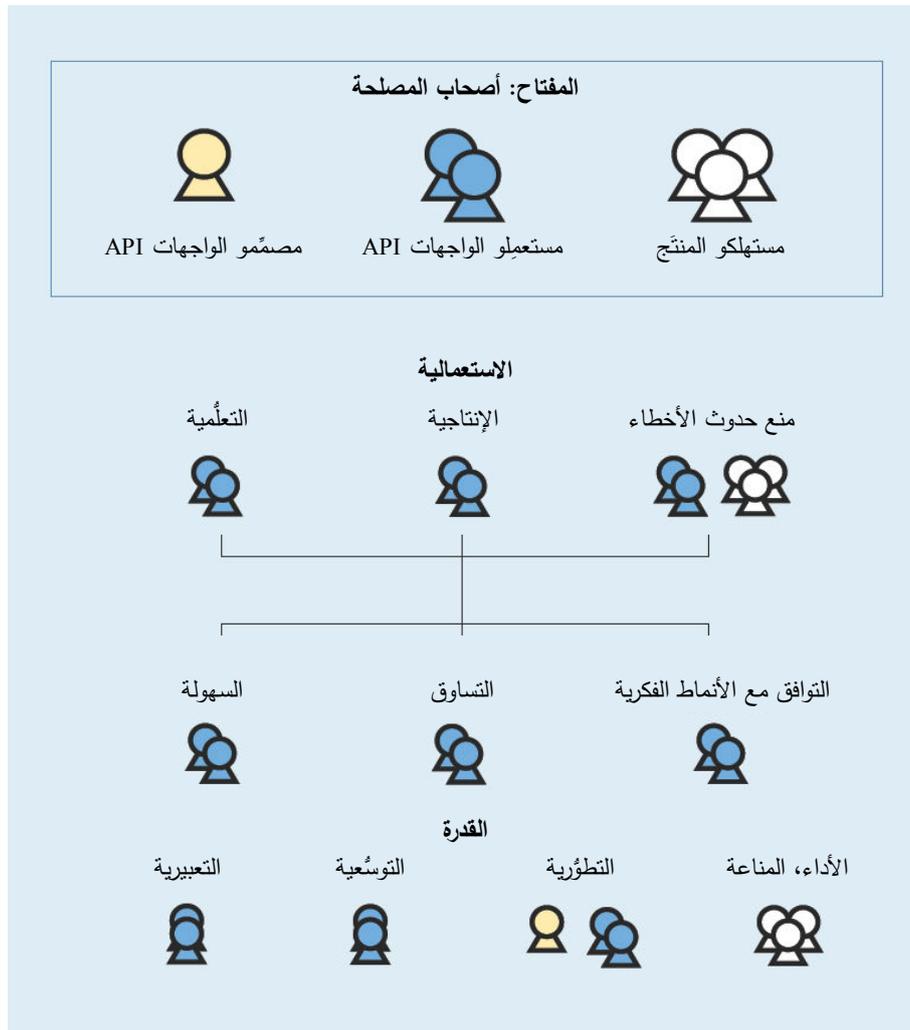
ونودُ أن نلقي بعض الضوء على أصحاب المصلحة المعنيين ممّن تأثروا بواجهات التطبيقات البرمجية، وأولهم مصمّموها، أي جميع المنخرطين في إنشائها ومن ضمنهم المنجزون (implementers) ومدوّنو التوثيق (documentation writers). ومن جملة أغراضهم زيادة اعتماد هذه الواجهات إلى أقصى حدٍّ ممكن، وتخفيض تكاليف دعمها وتطويرها إلى الحدود الدنيا، وإطلاقها في الوقت المناسب. يأتي بعدهم مستعملو الواجهات API، أو المبرمجون الذين يستعملونها وسيلةً تساعدهم على كتابة رمازهم. ومن أغراضهم: اكتساب القدرة على كتابة برامج خاليةٍ من الأخطاء بسرعة (دونما حاجةٍ إلى التقيد بنطاقٍ أو خصائصٍ محدّدة)، واستعمال الواجهات API التي يستعملها مبرمجون آخرون كُتُر (بحيث يتمكن الآخرون من اختبارها، والإجابة عن الاستفسارات بشأنها، وإرسال عينةٍ رماز (sample code) باستعمال هذه الواجهات)، والاستغناء عن تحديث رمازهم بسبب حدوث تغييراتٍ في الواجهات، وتشغيل تطبيقاتهم المتحصّلة بسرعةٍ وفاعلية. وفي حالة واجهات API العمومية، فإن عددَ مستعملي الواجهات ربما يفوق عددَ مطوّريها آلاف المرات. وأخيراً هناك مستهلكو المنتجات المتحصّلة، الذين قد يتأثرون تأثراً غير مباشر بنوعية الرماز الناجم، ولكنهم قد يتأثرون أيضاً تأثراً مباشراً، كما في حالة ضبائط واجهة المستعمل (user-interface widgets) على سبيل المثال، حيث تؤثر اختيارات واجهات API في واجهة المستعمل المتحصّلة شكلاً ومضموناً. أما أغراض المستهلكين (الزبائن) فتشمل الحصول على منتجاتٍ بالمواصفات المطلوبة والرصانة المرجوة (robustness)، وسهولة الاستعمال.

تحريك المشكلة

من الأسباب التي تجعل تصميم الواجهات API اختباراً عسيراً وجودُ واصفات جودة (quality attributes) عديدة يمكن أن تقوّم على أساسها الواجهات لأصحاب المصلحة المعنيين بها (انظر الشكل 1)، إضافةً إلى التوازنات المرجّحة فيما بينهم. وللواجهة API، على المستوى الأعلى، مزيّتان أساسيتان هما: الاستعمالية والقدرة (power). أما الاستعمالية فتضمّ واصفاتٍ تتناول مدى سهولة تعلّم واجهة API، وكيف يستعملها المبرمجون المنتجون، وما حدود إمكاناتها لمنع حدوث أخطاء، ومدى سهولة التعامل معها، ومدى تساقفها، ودرجة توافقها مع الأنماط الفكرية (mental models) لمستعمليها. وأما القدرة فتربط بتعبيرية الواجهة أو أنواع المجرّدات (abstractions) التي نتيجها، وتوسّعيتها (كيف يستطيع المستعملون توسيعها لابتداع مكونات (components) خاصة بهم)، وتطوريتها" بالنسبة إلى المصممين الذين سيتولّون تحديثها ويستنبطون إصداراتٍ جديدةً منها، وأدائها من حيث السرعة والذاكرة وغير ذلك من عوامل استهلاك الموارد، والمناعة والأمن في تنجيزها وفي التطبيق الناشئ عنها. ويلاحظ أن الاستعمالية تؤثر في مستعملي الواجهات API في المقام الأول، مع أن منع حدوث الأخطاء يؤثر أيضاً في مستهلكي المنتجات المتحصّلة. أما القدرة فتؤثر أولاً وبالذات في مستعملي الواجهات ومستهلكي المنتجات، مع أن التطورية تُحدث أيضاً تأثيراً في

مصممي الواجهات، ولها كذلك تأثير غير مباشر في مستعملها إلى حد يستلزم معه إجراء أي تغييرات في الواجهة تحرير ترميز التطبيقات التي تستعملها. ويبدو أن الواجهات API الحديثة لخدمات الوب تقتضي مثل هذه التغييرات أكثر من واجهات API المكتبية، كما يحدث مثلاً عند الترحيل من v2 إلى v3 لخرائط غوغل (Google Maps)، فذلك يتطلب إعادة كتابة كامل رماز مستعملي الواجهات API. وقد تناهى إلينا دليل غير مؤكّد مفاده أن الاستعملية قد تؤثر أيضاً في اعتماد واجهات API؛ فإذا استغرق تعلم المبرمج لواجهة زمنًا تجاوز الحدّ المقبول، أثرت بعض المؤسسات استعمال واجهة API أخرى أو كتابة وظيفية أكثر سهولة، اعتباراً من لا شيء.

وثمة سبب آخر للصعوبة يتمثل في أن تصميم واجهة API يتطلب اتخاذ مئات القرارات على عدّة مستويات



الشكل 1. واصفات الجودة للواجهات API وأكثر أصحاب المصلحة المعنيين تأثراً بكلّ مزية.

مختلفة، وجميعها قد يكون ذا تأثير في الاستعملية.²⁴ وتفاوتت هذه القرارات من العامّ الشمولي (كالبنيان الإجمالي للواجهة API، وأنماط التصميم المزمع استعمالها، وطريقة تقديم الوظيفة وتنظيمها)، إلى المستوى المنخفض (كتسمية محدّدة لكل

صفّ مصدرٍ (exported class)، ووظيفةٍ، وطريقةٍ، واستثناءٍ، ووسيط (parameter)). ويُسهّم كَبُرَ حجم الواجهات API في تعزيز هذه الصعوبات؛ فمثلاً، يضمُّ توصيفُ API من الإصدار المعياري لمنصة جافا (Java Platform, Standard Edition API Specification) أكثر من 4,000 صف وما يربو على 35,000 طريقةٍ مختلفة، ويضمُّ إطارُ العمل البرمجيّ NET Framework من مايكروسوفت ما يزيد على 140,000 صفّ وطريقةٍ وخصيصةٍ (property) وحقل.

أمثلة على المشكلات

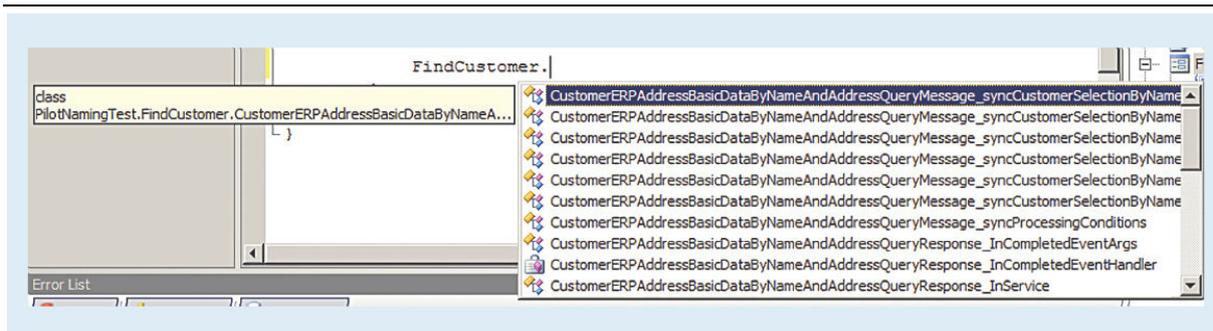
إن المبرمجين قادرون على تعرّف الواجهات API التي وجدوا هم شخصياً صعوبةً في تعلّمها واستعمالها بصورةٍ صحيحة، بسببٍ من قيود الاستعمالية.*^(*) وما نحن نورد هنا عدة أمثلةٍ لنعطي فكرةً عن نطاق المشكلات، علماً بأن المنشورات الأخرى اهتمت هي الأخرى بدراسة هذا الجانب.^{10,24}

وحددت دراساتٍ لمبرمجين شداً اختيار الوسائل المناسبة للاستعمال، ثم كيفية التنسيق فيما بين العناصر المتعددة للواجهات API باعتبارها العوائق الأساسية حيال عملية التعلّم.¹³ خذ مثلاً لغة Visual Basic؛ أراد المتعلّمون «استخراج» (pull) معطياتٍ من مؤطّر حوار (dialogue box) إلى داخل نافذةٍ بعد نقر «OK» بالموافقة، لكن، بسببٍ من تعرّف النفاذ إلى أغراض التحكم ما لم يكن مؤطّر الحوار مرئياً في لغة Visual Basic، تعيّن - بدلاً من ذلك - «دفع» (push) المعطيات من مؤطّر الحوار إلى النافذة.

والأمثلة كثيرةٌ على خصائص الواجهات API التي تؤثر في المبرمجين الخبراء المحترفين كذلك. فمثلاً، أظهرت نتائج دراسة¹¹ بلغة البرمجة C# عدداً من مشكلاتٍ تتصل بالوظيفية والاستعمالية في الوظيفة Select () من NET. socket لدى استعمالها لتحفيز تركيز أكبر على استعمالية الواجهات API عموماً. وفي دراسةٍ أخرى،²¹ وجد مستعملو الواجهات API صعوبةً في التعامل مع تصميمها وفقاً لنظام BRfplus من شركة SAP للبرمجيات (محرك بحث لقواعد إدارة أعمال). وقد أسهمت إعادة تصميم الواجهة API إسهاماً كبيراً في تحسين فرص المستعملين في النجاح واختصار زمن الإنجاز. كذلك دلّت دراسةٌ للإصدار الأول من الواجهات API من شركة SAP (في إطار مشروع البنين الخدميّ التوجّه (enterprise Service-Oriented Architecture (eSOA))¹ إلى وجود مشكلاتٍ في التوثيق، إضافةً إلى مواطن قصورٍ أخرى في الواجهة API بحدّ ذاتها، كاستعمال أسماءٍ طويلةٍ جداً (انظر الشكل 2)، وتبعيات (dependencies) غير واضحة، وصعوبةٍ في تنسيق العناصر المتعددة، وضعف نظام تبادل رسائل الأخطاء عندما يقع مستعملو الواجهات في أخطاء. وتجدر الإشارة هنا إلى أن مشكلاتٍ كبيرةً في التوثيق أظهرتها أيضاً دراسةٌ ميدانية¹⁹ ضمت 440 مطوّراً محترفاً يتعلّمون استعمال الواجهات API من مايكروسوفت.

وتتوفر مصادرٌ ببيوغرافيةٍ كثيرة، مطبوعةٌ وإلكترونية (على الشبكة) تركّز الواجهات API وتتوّه بها. من أبرز هذه المصادر وأشملها كتابان أحدهما من تأليف Joshua Bloch (كان يعمل حينئذٍ في شركة Sun Microsystems)³، والآخر للمؤلّفين Krzysztof Cwalina و Brad Abrahams (كانا حينذاك يعملان في شركة Microsoft). يعرض الكتابان إرشاداتٍ وإضاءاتٍ تحصلت على مدى عدة سنواتٍ صرّفت في إنشاء الواجهات API، التي انتشرت وراجت تحت اسم

(* نحن بصدد إخراج لائحةٍ بأموال الاستعمالية ومشكلاتها في الواجهات البرمجية للتطبيقات. وللاطلاع على ثبوت ضافٍ (شامل) من المقالات والموارد في مبحث استعمالية الواجهات API، انظر <http://www.apiusability.org>.



الشكل 2. أسماء الطرائق طويلة جداً لا يتمكّن معها المستعمل من تحديد أيّ الطرائق الستّ يختار في الإتمام الذاتي¹. يلاحظ أن قائمة الإتمام الذاتي لا تدعم التحريك الانزلاقي الأفقي (horizontal scrolling)، وكذا شأن نص التمرير الأصفر للبند المختار.

Java Development Kit (طقم جافا للتطوير)، وتحت اسم NET base libraries (مكتبات NET القاعدية) على الترتيب. بيد أننا رصدنا، بالدليل التجريبي، تناقضاً في بعض هذه الإرشادات، منها مثلاً أن Bloch ناقش المحاسن البنائية العديدة للنمط المصنعي (factory pattern)⁹ حيث يتعدّر إنشاء أغراض ضمن منظومة غرضية لمستسختات صفيّة (class-instance object system) بدعوى أنها جديدة، بل يتعيّن إنشاؤها باستعمال طريقة "مصنعية" (factory method) منفصلة، أو صفّ مصنعيّ (factory class) مختلف تماماً، علماً بأن استعمال أنماط أخرى قد يتطلب أيضاً طرائق مصنعية. ومع كل ذلك، فقد أظهرت البحوث التجريبية (empirical research) خسائر مهمة في الاستعملية عند تطبيق نمط مصنعيّ في الواجهات API⁶.

ثمة أيضاً فيض من الأدلة على أن تصاميم الواجهات API الأقل استعمالاً تؤثر في الناحية الأمنية. على أن تزايد استعمالية هذه الواجهات غالباً ما يرفع من درجة الأمن. فعلى سبيل المثال، خلّصت دراسة أجراها S. Fahl وآخرون⁷ على 13,500 من تطبيقات أندرويد (Android) الحرّة الراجعة إلى أن نسبة 8.0% منها قد أخطأت في استعمال الواجهات API فخلّطت بينها وبين البروتوكول الأمني Secure Socket Layer (SSL) أو خلّفه Transport Layer Security (TLS)، وبذلك كانت عرضة لهجوم ما يسمى «الرجل الذي في الوسط» (man-in-the-middle attack)^(*) وغيره من الهجمات. وأظهرت دراسة لاحقة على تطبيقات Apple iOS أن نسبة 9.7% منها مكشوفة للهجوم. أما الأسباب فتشمل صعوبات كبيرة في استعمال الواجهات API الأمنية بصورة صحيحة. وقد اقترح Fahl وزملاؤه⁷ إجراء تغييرات كثيرة من شأنها أن تزيد استعمالية هذه الواجهات وأمنها.

من ناحية أخرى، فإن زيادة درجة الأمن في بعض الحالات يخفّض فيما يبدو من استعمالية الواجهة API؛ فالتعليمات الأمنية للغة Java مثلاً تحثّ بقوة على استعمال صفوفٍ لامتغيرة (immutable classes)، وهذا يعني أن الأغراض غير قابلة للتبديل بعد إنشائها¹⁷. على أن نتائج بحوث تجريبية أظهرت أن المحترفين الذين يسعون إلى تعلّم الواجهات API يفضلون أن يكونوا قادرين على إنشاء أغراض فارغة (empty objects)، وإعداد حقولهم لاحقاً، ومن ثمّ يحتاجون إلى صفوفٍ متغيرة (mutable classes)²². إن تفضيل المبرمجين هذا يُظهر بوضوح أن تصميم الواجهات API

(*) في مجال التعمية وأمن الحاسوب، هو نوع من الاختراق، يندس فيه المهاجم بين طرفين متحاورين على الشبكة دون علم أيّ منهما. من الأمثلة عليه: التنصت eavesdropping. (المترجم)

يقتضي حدوث توازناتٍ مرجّحة، والوقوف على مدى الفائدة المرجوة من تحديد العوامل التي قد تؤثر في الاستعمالية والأمن.

طرائق محورها الإنسان

إذا اقتنعت بضرورة تحسين استعمالية الواجهات API، فلعك تتساءل عن السبيل إلى تحقيق ذلك. ومن يُمن الطالع توفّر مجموعةٍ صالحةٍ من الطرائق محورها الإنسان تساعد على الإجابة عن التساؤلات التي قد يطرحها مصمّم الواجهات API. **طور التصميم.** في بداية العملية، وعند التخطيط لتصميم واجهة API، ثمة طرائق كثيرة يمكن أن تُعيّن المصمّم. وفي هذا المساق كان مشروع البرمجة الطبيعية (Natural Programming Project) في جامعة كارنيجي ميلون الأمريكية رائدًا فيما نسميه طريقة استخلاص "البرمجة الطبيعية" (natural programming elicitation method)، حيث نحاول أن نفهم كيف ينظر مستعملو الواجهات API إلى الوظيفة²⁵ لتحديد ما يُرجى أن يكون الطريقة الطبيعية الفضلى لتوفيرها. وخلاصة هذه المقاربة وصفُ الوظيفة المطلوبة لمستعملي الواجهات API، ثم الطلب إليهم تدوين التصميم على صفحةٍ ورقيةٍ (أو شاشةٍ) فارغة. والغرض الرئيسي من ذلك معرفة الأسماء التي يعطيها مستعملو هذه الواجهات لمختلف الكيانات، وكيف ينظّم المستعملون الوظيفة في صفوفٍ متباينةٍ عند الضرورة. وذكر الباحثون أن محاولة تخمين أسماء الصفوف والطرائق هي أهم الأساليب التي يتبعها المستعملون بحثًا عن الوظيفة المطلوبة.¹⁴ ونشير إلى أننا وقفنا على درجةٍ معجبةٍ من التساوق في طريقة تسميتهم وتنظيمهم للوظيفة بين الصفوف.²⁵ ويتبيّن أيضًا مدى فائدة تقنية الاستخلاص (elicitation) هذه بصفحتها جزءًا من عملية تقويم استعمالية واجهة API قائمة (سيأتي بيانها لاحقًا)، إذ إنها تساعد على توضيح النتائج عن طريق إظهار الأنماط الفكرية للمشاركين.

وليس ثمة سوى قلةٍ من الدراسات التجريبية استغرقت جميع أشكال تصميم الواجهات API، لكنها كثيرًا ما أظهرت أنّ تبسيط الواجهة واجتتاب أشكالٍ من قبيل النمط المصنعي (factory pattern) من شأنهما تحسين الاستعمالية.⁶ أما الاقتراحات الأخرى ذات الصلة بالتصاميم، فتستند إلى آراء مصمّمين أولي خبرة،^{3,5,11,17} وهذه الآراء، على كثرتها، تعاني تناقضًا في بعض الأحيان.

وكما ذكرنا نوا، فإن هناك مجموعةً كبيرةً من طرائق التقويم للتصاميم، بيد أن كثيرًا منها قد يُستعمل أيضًا في أثناء طور التصميم بصورة إرشاداتٍ دليليةٍ (guidelines) يجدر بمصمّم واجهات API أن يجعلها نصب عينيه دومًا. فمثلًا، من الإرشادات الواردة في «الأبعاد الاستعرافية» (cognitive dimensions)⁴ وفي «التقويم الاستكشافي» (heuristic evaluation) لنيلسن Nielsen¹⁶: التساوق (consistency)، الذي ينطبق على جوانبٍ عدّةٍ في تصميم الواجهات API. ومن أمثلة تطبيقه أن ترتيب الوسطاء (parameters) يجب أن يكون واحدًا في كلّ طريقة. على أن لا `javax.xml.stream.XMLStreamWriter` في حالة Java 8 إضافاتٍ جمل (overloadings) مختلفة في طريقة `writeStartElement`، وذلك بأخذ وسيطي String، وهما `localName` و `namespaceURI`، بالترتيب العكسي أحدهما من الآخر.¹⁸ ولما كانا متواليتين (strings) كلاهما، فليس بإمكان المصرّف (compiler) رصد أخطاء المستعملين (انظر جزء الرماز 1).

```
void writeStartElement (String namespaceURI,
                        String localName)
void writeStartElement (String prefix,
                        String localName,
                        String namespaceURI)
```

جزء الرمز 1. إضافتا حمل في الطريقة writeStartElement في جافا، حيث زُتَب الوسيطان localName و namespaceURI بترتيب عكسي.

ومن إرشادات نيلسن الدليّة أيضاً تخفيض احتمال الوقوع في الخطأ.¹⁶ ويمكن توظيفه لتقادي سلاسل طويلةٍ من الوسطاء من النوع نفسه يُحتمل أن يخطئها مستعملٌ واجهة API ويُخفق المصرفُ في تدقيقها. على سبيل المثال: يتخذ الصّفُ TPASupplierOrderXDE في التطبيق Petstore (برمجية عرض بيئة J2EE من أوراكل) سلسلةً من تسع متواليات Strings (انظر جزء الرمز 2).¹⁸ وبالمثل، وفي إطار العمل .Net. من مايكروسوفت، فإن للصّف System.Net.Cookie أربعةُ بُناة (constructors)

```
void setShippingAddress (
    String firstName, String lastName, String street,
    String city, String state, String country,
    String zipCode, String email, String phone)
```

جزء الرمز 2. سلاسل وسطاء يُحتمل أن يخطئها كثيرٌ من مستعملي الواجهات API.

تتخذ من المتواليات: صفر أو اثنين أو ثلاثة أو أربعة دخلاً (input). وهناك تطبيقٌ آخر لهذا المبدأ، يتمثل في جعل القيمة المغتقّلة (default) أو الوسطاء المستعملة كأمثلة، تؤدّي المهمّة الصحيحة. ويذكر Fahl وفريقُ عمله⁷ أن إقرار صلاحية شهادة البروتوكول SSL يتوقف عند استعمال أطر أعمال ومكتبات نظام التشغيل iOS. وينجم عن ذلك أن يرتكب مستعملو الواجهات API خطأ تركها من غير تدقيقٍ في التطبيقات المنشورة (deployed applications).

تقويم تصميم الواجهة API

بعد الفراغ من تصميم واجهة API جديدة، بات من الضروري تقويمها، لقياس وتحسين استعماليّتها. ولعملية التقويم طرائق عديدةٌ متاحة، تركّز على المستعمل في المقام الأول. أسهل هذه الطرائق تقويم التصميم اعتماداً على مجموعةٍ من الإرشادات. وإرشادات نيلسن في «التقويم

الاستكشافي»¹⁶ تُعرض عشر خصائص يستعين بها الخبير المحترف لتدقيق أي تصميم (<http://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>)، وذلك يصح تماماً على الواجهات API كما يصح على واجهات المستعمل النظامية على حدٍ سواء. ونورد فيما يأتي إسقاطاتنا للإرشادات الدليّة على تصاميم الواجهات API، مع مثالٍ عامٍّ يوضّح كيفية تطبيق كلِّ تصميم.

قابلية رؤية حالة النظام. من السهل على مستعمل واجهة API التحقّق من الحالة (كحالة ملفّ: هل هو مفتوح أم لا؟)، علماً بأن حالات سوء التوافق (mismatches) بين الحالة والعمليات حريّة بتوفير تغذية راجعة (feedback) ملائمة (من قبيل أن الكتابة إلى ملفّ مغلق لا بدّ أن تفضي إلى رسالة خطأ مفيدة).

التوافق بين المنظومة والعالم الواقعي. ينبغي أن تتوافق الأسماء التي تُطلق على الطرائق وتنظيمها في صفوفٍ مع توقّعات مستعملي الواجهات API. فمثلاً، يُستعمل الاسم المألوف والأكثر شمولاً للصفّ الذي يُفترض أن يستعمله المبرمجون فعلاً، غير أن لغة جافا Java تخرق هذه القاعدة في مواضع عدة. صحيح أن ثمة صفّاً في لغة جافا يحمل اسم File (ملف)، لكنه صفّ تجريديّ عالي المستوى (high-level abstract class) لتمثيل مسارات نُظم ملفات (file system paths). لذا يتعيّن على مستعملي الواجهات API استعمال صفّ مختلفٍ تماماً (من مثل FileOutputStream) للقراءة والكتابة.

تحكّم المستعمل وحريته. يجب أن يكون مستعملو الواجهات API قادرين على إجهاض عمليات أو إعادة تهيئتها، وعلى إعادة الواجهة إلى حالة طبيعية بيسرٍ وسهولة.

التساوق. يجب أن تكون أجزاء التصميم كلّها متساوقة في كامل الواجهة، كما تقدّم أنفاً. منع حدوث الأخطاء. على الواجهة API إرشاد المستعمل إلى استعمالها الصحيح، ويتضمّن ذلك اعتماد قيمٍ معتقّلة (defaults) تؤدي المهمة الصحيحة.

تفعيل التعرّف مقدّم على التنكّر. سنتطرّق في الفقرات الآتية إلى أداة يُؤثرها المستعملون في استكشاف واجهة API، هي النافذة المنبثقة للإتمام الذاتي (autocomplete popup) من بيئة التطوير المتكاملة (integrated development environment (IDE)). ومن ثمّ فإن من جملة المتطلّبات جعل الأسماء واضحة ومفهومة تمكّن المستعملين من تعرّف العناصر التي يريدون. وكان من بين الخروق الجديرة بالملاحظة لهذا المبدأ واجهة API تحوي ستة أسماء بدت متطابقة في نافذة الإتمام الذاتي، وذلك بسبب طول تلك الأسماء إلى درجة جعلت الفروق فيما بينها خارج شاشة الإظهار¹، كما يتضح من الشكل 2. ووجدنا أيضاً أن هذه الأسماء ملتبسةً يتعدّر تمييزها عندما كان المستعملون يحاولون قراءة رمازٍ قائمٍ وفهمه، وأدى ذلك إلى حدوث كثيرٍ من الاضطراب والأخطاء.¹

المرونة وفعالية الاستعمال. يتعيّن أن يتمتّع المستعملون بالقدرة على إنجاز مهامهم في التعامل مع الواجهات API على نحوٍ ناجحٍ وفعال.

التصميم الجمالي (aesthetic) والأتنوي (minimalist). قد يبدو بديهياً أن الواجهة API التي تكون أصغر حجماً وأقلّ تعقيداً هي الأوفى حظاً في أن تكون أكثر استعمالاً. وقد انتهت دراسةً تجريبيةً²⁰ إلى أنه في حالة الصفوف، كان لعدد الصفوف الأخرى في ذات الحزمة/فضاء الأسماء (package/namespace) تأثيرٌ في نجاح محاولة العثور على الصف المرغوب. على أننا لم نجد ارتباطاً بين عدد عناصر واجهة API واستعماليتها ما داما يحملان أسماءً مناسبةً وتنظيماً حسناً.²⁵ فعلى سبيل المثال، إن إضافة مزيدٍ من أنواعٍ مختلفةٍ من الأغراض التي يمكن رسمها لا تعدّ بالضرورة

حزمةً بيانية؛ وكذلك فإن إضافة بُناةٍ ملاءمة (convenience constructors) تستغرق مجموعاتٍ مختلفةً من الوسطاء (parameters) يمكن أن تحسّن الاستعمالية.²⁰ وهناك عاملٌ مهمٌ يتمثّل في اقترانٍ سابقاتٍ (prefixes) مختلفةٍ بأسماء الطرائق المختلفة، بحيث يسهل تمييزها بطباعة عددٍ قليلٍ من المحارف ابتغاء إتمام الرماز في برنامج «المحرّر».²⁰ مساعدة المستعملين على التعرّف والتشخيص والتعافي من الأخطاء. ثمة عددٌ مدهلٌ من الواجهات API يوفّر معلوماتٍ غيرٍ مُساعدةٍ تتصل بالأخطاء، بل حتى لا يتيح أيّ معلوماتٍ البتّة عند حصول أيّ خطأ. ومن شأن ذلك أن يخفّض من الاستعمالية، وقد يؤثّر أيضًا في درجة الضبط والأمن. وهنا يُشار إلى وجود أساليبٍ كثيرةٍ لإظهار الأخطاء لا يعضدها دليلٌ تجريبيّ قاطع (بل آراء كثيرة) يحدّد أيّها أصلح للاستعمال - وهذا بالذات هو موضوع البحوث الراهنة لفريق عملنا.

المساعدة والتوثيق. من أهم بواعث الشكوى على الاستعمالية الواجهات API التوثيقُ غيرُ الوافي.¹⁹ بالمثل، يتيح إطارُ الأبعاد الاستعرافية (Cognitive Dimensions Framework) مجموعةً من الإرشادات يمكن الاستفادة منها في تقويم الواجهات API.⁴ ومن الطرائق ذات الصلة طريقةُ المسح الاستعرافي السريع (Cognitive Walkthrough) التي يقومُ الخبيرُ المحترفُ بها درجةً نجاحٍ واجهةٍ مستعملٍ في دعم مهمةٍ معيّنةٍ أو أكثر. أما نحن فقد اعتمدنا طريقتي التقويم الاستكشافي والمسح الاستعرافي السريع كليهما لتحسين المنتج NetWeaverGateway من شركة SAP المتحدّة للبرمجيات. وإذا كان المطوّرون (من شركة SAP) الذين أوجدوا هذه الأداة يعتمدون إجراءاتٍ رشيقةً لتطوير البرمجيات (agile software-development processes)، فقد كانوا قادرين على تحسين استعمالية الأداة اعتمادًا على عمليات التقويم التي أجريناها نحن.⁸

ومع أن خبيرَ واجهة المستعمل عادةً ما يطبّق هذه الإرشاداتِ الدليّة لتقييم واجهة API، فإن بعضَ الأدوات توتّمت تقييماتٍ هذه الواجهات باستعمال الإرشادات؛ إذ تستطيع إحدى الأدوات مثلًا تقييم الواجهات API مقابل مجموعةٍ من تسعة مقاييس (metrics)، منها: البحثُ عن طرائق ذات إضافاتٍ جمل (overloaded) ولكن بأنواعٍ عوائدٍ مختلفة، وعددٌ كبير من الوسطاء على التعاقب من الأنواع نفسها، وتتأسقُ ترتيب الوسطاء في الطرائق المختلفة.¹⁸ وبالمثل، فإن ما يسمّى إطار عمل مفاهيم الواجهات API (API Concepts Framework) يأخذ السياقَ (context) في الحسبان، لأنه يقومُ بالواجهة API وعيّناتٍ من الترميز باستعمال واجهة API²⁰، وهو قادر على سبر أنواعٍ عديدةٍ من المقاييس التي تقدّم ذكرها، ومنها: هل للطرائق المتعدّدة السابقة (prefix) نفسها (ومن ثمّ قد يكون استعمالها مزعجًا في قوائم استكمال الرماز (code-completion menus)، وهل تعتمد تلك الطرائق النمطَ المصنعي؟

وفي مضمّار تفاعل الإنسان مع الحاسوب (HCI)، يُنظر إلى الدراسات التي تتناول اختبار واجهة مستعمل مع مستعملين مستهدفين (target users) على أنها «القاعدة الذهبية».¹⁶ وبالإمكان إجراء مثل هذه الاختبارات على الواجهات API أيضًا. ففي عملية تقويم (evaluation) للاستعمالية تعتمد على «التفكير الجّهوري»، يحاول المستعملون المستهدفون (هنا مستعملو واجهة API) إنجازَ بعض المهامّ (الصادرة من أنفسهم أو من منقّدي التجارب) على واجهة API، في بيئةٍ مختبريةٍ عادةً، ويشجّعون على التفكير الجّهوري*. ومن شأن ذلك بالطبع توضيح توجّهاتهم، وجلاء مقاصدهم، والكشف - في العموم - عن أسباب اتّخاذهم اختياراتٍ معيّنة. وقد يكون اهتمامُ الباحث منصرفًا إلى إجراء اختبار المقارنة بين صورتين لغرضٍ واحد، وهو ما يسمّى A/B test الأكثر رصانةً، فيقارن مثلًا إصدارًا قديمًا لواجهة API بإصدارٍ جديدٍ لها (كما فعلنا

* think-aloud: أي الإفصاح عمّا يفكرون به.

سابقاً^{6,21,25})، غير أن الروى العميقة في عقبات الاستعملية (usability barriers) عادةً ما تكون كافيةً حينما تنبتق من تقييم غير رسمي مستند إلى التفكير الجهوري.

وعرض Grill وآخرون¹⁰ طريقةً استعمل فيها خبراءً تقويم نيلسن الاستكشافي لتعرف مشكلات في واجهة API، ورصدوا مطورين يتعلمون استعمال الواجهة نفسها في المختبر. وكان من النتائج المهمة أن هاتين الطريقتين كشفنا، في المقام الأول، مجموعاتٍ مستقلةً لمشكلاتٍ تعانيتها واجهة API تلك.

تعديلات مخففة

عندما تبدي أي من هذه الطرائق مشكلةً في استعمالية واجهة API، يكون تغيير الواجهة هو التعديل المخفف الأمثل لحل المشكلة. على أن تغيير الواجهة في الواقع قد لا يكون ممكنًا لأسبابٍ عدة. مثلاً، لا يمكن تغيير واجهات API موروثة (قديمة) (legacy) إلا في حالاتٍ نادرة، لأن ذلك قد يستتبع أيضًا تغيير كامل الرمز الذي يستعمل هذه الواجهات. بل إن بإمكان مصمم واجهة API، حتى لو كانت جديدة، إجراء توازنٍ مرجحٍ صريحٍ لتخفيض الاستعملية على حساب تحقيق غاياتٍ أخرى كالفعلية؛ إن بالإمكان مثلاً استعمال نمطٍ مصنعيٍّ في واجهة API ذات أداءٍ حرجٍ (performance-critical) API، وذلك اجتنابًا لتخصيص أي ذاكرة على الإطلاق.

وعند تعدر إزالة مشكلةٍ تتصل بالاستعملية من الواجهة API نفسها، ثمة تعديلاتٍ مخففةٍ كثيرةً يمكن تطبيقها لمساعدة مستعمليها. ومن أوضح هذه التعديلات وأقربها تحسين التوثيق ورمز الأمثلة (example code)، الذي يعدُّ مَنَارَ الشكاوى المتكررة لمستعملي الواجهات API عموماً.¹⁹ وينبغي أن يهتم مصممو هذه الواجهات بتوجيه المستعملين صراحةً إلى سبل حل المشكلات المألوفة. على سبيل المثال، تضيف أداة الجاديت (Jadite) إلى التوثيق إحالاتٍ (cross-references) على طرائق يتوقع المستعملون وجودها، لكنها في الواقع تقع في صفٍّ مختلف. ²³ فصف Message (رسالة) في لغة Java لا يحوي طريقة send (أرسل)، لذلك تضيف أداة الجاديت طريقة "أرسل" زائفةً إلى التوثيق الخاص بصف "رسالة"، إعلامًا للمستعملين بالتحول إلى صف Transport (نقل) بدلاً من ذلك. إن إدراك الحقيقة بأن غياب هذه الطريقة في صف Message يربك المستعملين حرياً بأن يتيح لتوثيق الواجهات API زيادة المساعدة حيث تدعو الحاجة إليها تماماً.

أدوات

هذا النوع من المساعدة يمكن تقديمه حتى في إطار أدوات البرمجة (مثل محرر الرمز (code editor) أو بيئة التطوير المتكاملة (IDE))، لا في سياق التوثيق فقط. وتضيف أداة الكالسيت (Calcite)¹⁵ مداخل إضافيةً إلى قوائم الإتمام الذاتي الخاصة بأدوات المطورين بلغة Java المسماة Eclipse IDE، وذلك لمساعدة مستعملي الواجهات API على اكتشاف طرائق جديدة مفيدة في السياق الراهن، حتى إن لم تكن جزءاً من الصف الحالي. وتبرز الكالسيت أيضًا متى يجب استعمال النمط المصنعي لإنشاء أغراض.

وهناك أدوات أخرى كثيرةً قد تساعد أيضًا على استعمالية الواجهات API. فمثلاً، إن بعض الأدوات التي تسهم في إعادة تنظيم بنية الرمز (code refactoring) لمستعملي الواجهات API يمكن أن تذلل عقبة تغيير الواجهة (من قبيل الأداة Gofix للغة Go (<http://blog.golang.org/introducing-gofix>)). وتسهم أدوات أخرى في إيجاد العناصر

الصحيحة لاستعمالها في الواجهات API، وهي «عزافات» (wizards) تعطي جزءاً من الرماز المطلوب استناداً إلى إجابات مستعملي هذه الواجهات عن أسئلةٍ محدّدة⁸، وإلى أنواعٍ عديدةٍ من وسائل كشف العثرات (bug checkers)، التي تتفقد المنظومة ضماناً لاستعمالٍ صحيحٍ للواجهات API (مثل <http://findbugs.sourceforge.net/>).

الخاتمة

منذ أن بدأ فريقنا Natural Programming group (مجموعة البرمجة الطبيعية) بحوثه في استعمالية الواجهات API في مطلع القرن الحادي والعشرين، شهدت صناعة البرمجيات تحولاتٍ مهمّةً، كان من أكبرها وأبرزها التوجّه نحو التطوير الرشيق للبرمجيات (agile software development). وبمقتضى هذا التوجّه يُطرح بسرعةٍ مُنتجٌ عيُوشٌ بالحدود الدنيا (minimum-viable-product)، ثم يكرّر اعتماداً على معلوماتٍ راجعةٍ (عن المنتج) واقعيةٍ من المستعمل (user feedback). ومع ما أحدثته هذه العملية من أثرٍ إيجابيّ في الاستعمالية ككلّ لجهة دفع التطوير الذي محوره المستعمل (user-centric development)، فقد كشفت عدداً من التحدّيات الفريدة في تصميم الواجهات API؛ فهذه الواجهات تحدّد أنواع البرمجيات، لا للمبرمجين فقط لدراستها وكتابة الترميز إزاءها، بل أيضاً للحواسيب لتنفيذها، فتجعلها هشّةً وصعبةً التغيير. وفي حين يبدي المستعملون من البشر سرعةً في الاستجابة للتغيّرات الصغيرة والتدرجية في تصميم واجهة المستعمل، التي تنشأ عن إجرائيةٍ رشيقةٍ (agile process)، فإن الرماز لا يبدي مثل هذه الاستجابة. هذا النفور من التغيير من شأنه أن يرفع من الاحتمالات المؤيّدّة لتصحيح التصميم أولاً وقبل كل شيء. ولا يكاد يختلف سلوكُ مستعملي الواجهات API عن سلوك غيرهم من المستعملين في شيءٍ على وجه العموم، لكن القيود التي تفرضها الحاجة إلى تلافي خرق الرماز الراهن تجعل إجرائية التطوير وتنظيم الإصدارات والسحب الأولي مختلفاً جداً عن مهامّ التصميم الأخرى. والحقيقة أنه ليس من الواضح بعدُ كيف يمكن تكيف أسلوب التطوير الرشيق الشائع اليوم، الذي يرى أن «الإخفاق السريع يعني الإخفاق الدائم»، ليكون قادراً على إنشاء واجهات API وتطويرها في بيئة يكون فيها طرح ودعم واجهات API منقوصة، أو إحداث تغييراتٍ جذريةٍ في الواجهات الحالية (من طريق دعم إصداراتٍ متعدّدة أو رفع الدعم عن إصداراتٍ قديمة) أمراً باهظاً التكلفة إلى حدّ بعيد.

إننا نستشرف مستقبلاً يُدخل فيه مصمّمو الواجهات API في اعتبارهم دوماً جانب الاستعمالية بصفته مقياس جودةٍ أساسياً يستحق أن تستمنّله واجهات API كلّها جميعاً؛ مستقبلاً يُرْفَضُ فيه طرح واجهات API لم تُقيّم استعماليتها، تماماً كما تُرْفَضُ لعدم تقييم دقّتها ومناعتها. وإذا ما قرّر المصمّمون جواز الترخّص في الاستعمالية أو التساهل فيها على حساب تحقيق أغراضٍ أخرى، كان قرارهم نابغاً عن درايةٍ ورويةٍ، وبوضع تعديلاتٍ مخفّفةٍ في مكانها المناسب. ولسوف يسهم الباحثون ومصمّمو واجهات API في جملةٍ من المعارف والطرائق والأدوات التي تفيد في تقييم وتحسين استعمالية الواجهة. أما النتيجة فهي الحصول على واجهات API أيسر تعلّماً وأطبع استعمالاً، ومستعملين لها أكثر فاعليّة وكفاءة، ومنتج أكثر رصانةً وأماناً للمستهلكين.

كلمة شكر

هذه المقالة ثمرة عملٍ دام أكثر من عشر سنين دأباً على استعمالية واجهات API. وتولّى العمل فريق البرمجة الطبيعية في جامعة كارنيغي ميلون، وشارك فيه أكثر من ثلاثين عضواً من طلبة وأساتذة وباحثين أولي خبرةٍ عالية، إضافةً إلى صاحبي

هذه المقالة. إننا ننوّه هاهنا بهم جميعاً على إسهاماتهم، وندعم بالشكر أيضاً إلى كل من: Jack Beaton و André Santos و Michael Coblenz و John Daughtry و Josh Sunshine، وكذلك إلى المراجعين والمدققين، تقديراً لملاحظاتهم السديدة على المسودات الأولى لهذه المقالة. ومن الواجب الإشارة إلى أن تمويل هذا العمل احتملته مشكورة الجهات الآتية: SAP و Adobe و IBM و Microsoft، وهيئات متعدّدة قدّمتها المؤسسة الوطنية للعلوم (National Science Foundation) شملت: IIS-0757511 و CCF-0811610 و IIS-0329090 و IIS-1116724 و IIS-1314356 و CNS-1423054 و CCR-0324770. ونشير أخيراً إلى أن ما وردَ في الدراسة من آراء ونتائج وتوصيات إنما هي للمؤلّفين حصراً، ولا تعبر بالضرورة عن مواقف أيّ من الجهات الراعية للعمل.

المراجع

- [1] Beaton, J., Jeong, S.Y., Xie, Y., Stylos, J., and Myers, B.A. Usability challenges for enterprise service-oriented architecture APIs. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing* (Herrsching am Ammersee, Germany, Sept. 15–18). IEEE Computer Society Press, Washington, D.C., 2008, 193–196.
- [2] Blackmon, M.H., Polson, P.G., Kitajima, M., and Lewis, C. Cognitive walkthrough for the Web. In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems* (Minneapolis, MN, Apr. 20–25). ACM, Press, New York, 2002, 463–470.
- [3] Bloch, J. *Effective Java Programming Language Guide*. Addison-Wesley, Boston, MA, 2001.
- [4] Clarke, S. *API Usability and the Cognitive Dimensions Framework*, 2003; <http://blogs.msdn.com/stevenc/archive/2003/10/08/57040.aspx>
- [5] Cwalina, K. and Abrams, B. *Framework Design Guidelines, Conventions, Idioms, and Patterns for Reusable .NET Libraries*. Addison-Wesley, Upper-Saddle River, NJ, 2006.
- [6] Ellis, B., Stylos, J., and Myers, B.A. The factory pattern in API design: A usability evaluation. In *Proceedings of the International Conference on Software Engineering* (Minneapolis, MN, May 20–26). IEEE Computer Society Press, Washington, D.C., 2007, 302–312.
- [7] Fahl, S., Harbach, M., Perl, H., Koetter, M., and Smith, M. Rethinking SSL development in an appified world. In *Proceedings of the ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security* (Berlin, Germany, Nov. 4–8). ACM Press, New York, 2013, 49–60.
- [8] Faulring, A., Myers, B.A., Oren, Y., and Rotenberg, K. A case study of using HCI methods to improve tools for programmers. In *Proceedings of Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering at the International Conference on Software Engineering* (Zürich, Switzerland, June 2). IEEE Computer Society Press, Washington, D.C., 2012, 37–39.
- [9] Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., and Vlissides, J. *Design Patterns*. Addison-Wesley, Reading, MA, 1995.
- [10] Grill, T., Polacek, O., and Tscheligi, M. Methods towards API usability: A structural analysis of usability problem categories. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Human-Centered Software Engineering*, M. Winckler et al., Eds. (Toulouse, France, Oct. 29–31). Springer, Berlin, Germany, 2012, 164–180.
- [11] Henning, M. API design matters. *ACM Queue* 5, 4 (May–June, 2007), 24–36.
- [12] Kirschner, B. *The Perceived Relevance of APIs*. Apigee Corporation, San Jose, CA, 2015; <http://apigee.com/about/apibest-practices/perceived-relevance-apis>
- [13] Ko, A.J., Myers, B.A., and Aung, H.H. Six learning barriers in end-user programming systems. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing* (Rome, Italy, Sept. 26–29). IEEE Computer Society Press, Washington, D.C., 2004, 199–206.
- [14] Ko, A.J., Myers, B.A., Coblenz, M., and Aung, H.H. An exploratory study of how developers seek, relate, and collect relevant information during software maintenance tasks. *IEEE Transactions on Software Engineering* 33, 12 (Dec. 2006), 971–987.
- [15] Mooty, M., Faulring, A., Stylos, J., and Myers, B.A. Calcite: Completing code completion for constructors using crowds. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing* (Leganés-Madrid, Spain, Sept. 21–25). IEEE Computer Society Press, Washington, D.C., 2010, 15–22.
- [16] Nielsen, J. *Usability Engineering*. Academic Press, Boston, MA, 1993.
- [17] Oracle Corp. *Secure Coding Guidelines for the Java Programming Language, Version 4.0*, 2014; <http://www.oracle.com/technetwork/java/seccodeguide-139067.html>
- [18] Rama, G.M. and Kak, A. Some structural measures of API usability. *Software: Practice and Experience* 45, 1 (Jan. 2013), 75–110; https://engineering.purdue.edu/RVL/Publications/RamaKakAPI_SPE.pdf
- [19] Robillard, M. and DeLine, R. A field study of API learning obstacles. *Empirical Software Engineering* 16, 6 (Dec. 2011), 703–732.

- [20] Scheller, T. and Kuhn, E. Automated measurement of API usability: The API concepts framework. *Information and Software Technology* 61 (May 2015), 145–162.
- [21] Stylos, J., Busse, D.K., Graf, B., Ziegler, C., Ehret, R., and Karstens, J. A case study of API design for improved usability. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing* (Herrsching am Ammersee, Germany, Sept. 20–24). IEEE Computer Society Press, Washington, D.C., 2008, 189–192.
- [22] Stylos, J. and Clarke, S. Usability implications of requiring parameters in objects' constructors. In *Proceedings of the International Conference on Software Engineering* (Minneapolis, MN, May 20–26). IEEE Computer Society Press, Washington, D.C., 2007, 529–539.
- [23] Stylos, J., Faulring, A., Yang, Z., and Myers, B.A. Improving API documentation using API usage information. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing* (Corvallis, OR, Sept. 20–24). IEEE Computer Society Press, Washington, D.C., 2009, 119–126.
- [24] Stylos, J. and Myers, B.A. Mapping the space of API design decisions. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing* (Coeur d'Alene, ID, Sept 23–27). IEEE Computer Society Press, Washington, D.C., 2007, 50–57.
- [25] Stylos, J. and Myers, B.A. The implications of method placement on API learnability. In *Proceedings of the 16th ACM SIGSOFT Symposium on Foundations of Software Engineering* (Atlanta, GA, Sept. 23–27). ACM Press, New York, 2008, 105–112.

المؤلفان

بُرَاد مَائِرِز (bam@cs.cmu.edu): أستاذ في معهد تفاعل الإنسان مع الحاسوب (HCI) بجامعة كارنيجي ميلون في مدينة بيتسبورغ بولاية بنسلفانيا الأمريكية.

جيفري ستايوس (jsstylos@us.ibm.com): مهندس برمجيات في شركة IBM في مدينة لينتلون بولاية ماساتشوستس الأمريكية. نال درجة الدكتوراه في علوم الحاسوب من جامعة كارنيجي ميلون في أثناء عمله البحثي الذي تتناوله هذه المقالة.

الحوسبة المكانية

SPATIAL COMPUTING*

Shashi Shekhar, Steven K. Feiner, And Walid G. Aref

ترجمة: د. نزار الحافظ

مراجعة: د. مكي الحسني

معرفة مكان وجودنا في المكان والزمان تُعدُّ بفهمٍ أعمقٍ لجيراننا، والنظم البيئية، والبيئة.

تشمل الحوسبة المكانية الأفكار والحلول والأدوات والتقانات والنظم التي تحوّل حياتنا، وذلك بإيجاد فهم جديد للمواقع - كيف نعرف، ونتواصل، ونتصور علاقتنا بالمواقع، وكيف نتنقل بينها. يسمح نظام تحديد المواقع (GPS) المتغلغل في كل مكان للمتجولين في المنتزهات الوطنية، وأصحاب المراكب في البحيرات، والأطفال الذين يزورون أماكن جديدة، وسيارات الأجرة (أو سائقي أوبر Uber¹ أو السيارات الذاتية القيادة)، والطائرات بدون طيار، بمعرفة مواقع كل

أفكار رئيسية

- بدءاً من إتاحة منظومة GPS للعموم، أثرت الحوسبة المكانية حياتنا بخدماتٍ معتمدة على الموقع (مثل خرائط جوجل Google Maps، أوبر Uber، وضع أماراتٍ جغرافية، المستهدف جغرافياً (geotargeted)، ويتضمن تنبيهات AMBER).
- وأدت أيضاً إلى تقدم علوم الحاسوب بأفكارٍ مثل قواعد المعطيات المكانية (مثلاً الشجرة R ومكتبة السمات البسيطة في OGIS)، والإحصاءات المكانية (مثل نظرية معالجة النقطة وطريقة Kriging)، والتنقيب في المعطيات المكانية (مثل الكشف عن البؤر الساخنة المتينة).
- تشمل الفرص التحويلية المحتملة المستقبلية: الخدمات المعتمدة على الموقع في الأماكن المغلقة في كل مكان، إنترنت الأشياء المادية الواعية للموقع، الرصد العالمي المستمر، الإظهار، التنبؤ، التنبيهات، التحذيرات، بغية مواجهة التحديات المجتمعية، مثل تغير المناخ وكيفية توفير الغذاء والطاقة والماء الملائمة.

منها، والمرافق القريبة، والطرق للوصول إلى الأماكن ذات الأهمية.²

* نُشير هنا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 59، العدد 1، كانون الثاني (يناير) 2016، الصفحات 72 - 81.

¹ الطريقة التي يعمل بها Uber بسيطة جداً. يُطلب الراكب سيارةً بالهاتف الذكي الذي يشغل تطبيق أوبر. فيتوجه سائق أوبر من ثم إلى موقع الراكب ليأخذه إلى وجهته. لا يجري تبادل أي مبالغ نقدية، لكن يجري الدفع تلقائياً من بطاقة صرف الراكب. (المترجم)

² استعمل المشاركون في ورشة عمل 2012 لاتحاد مجتمع الحوسبة مصطلح "الحوسبة المكانية" تعميماً لبنى المعطيات المكانية،⁴⁶ وقواعد المعطيات المكانية،⁵⁰ والتنقيب في المعطيات المكانية،¹⁰ والإحصائيات المكانية،¹² والإدراك المكاني،⁸ والقضايا الحسابية الأخرى ذات الصلة بالأماكن الجغرافية وغير الجغرافية (مثل كتلوجات (أدلة) السماء، التصميمات الداخلية، تصميم VLSI). يركز المصطلح ضمن الأماكن الجغرافية، على الجوانب الحسابية لنطاقات هندسية متعددة التخصصات، يشار إليها بأسماء متعددة، مثل المعلوماتية الجغرافية (geoinformatics)، علم

تستعمل المؤسسات الكبيرة الحوسبة المكانية لاختيار المواقع، وتتبع الأصول، وإدارة المرافق، والملاحة، والخدمات اللوجستية. ويستعمل العلماء منظومات سواتل الملاحة الشمولية، أو ما يسمى GNSS²⁴ (مثل منظومة تحديد المواقع الشمولية، أو GPS)، لتتبع الأنواع المهددة بالانقراض ولفهم أفضل لسلوك الحيوان، في حين يستعمل المزارعون هذه التقانات لدعم الزراعة الدقيقة لزيادة غلة المحاصيل وخفض التكاليف. تساعد الفضاءات الافتراضية¹⁴ (مثل برنامج Google Earth و World Wind من وكالة ناسا) على تعليم أطفال المدارس عن أحيائهم المحلية والعالم (مثل الجبل البحري Wini قرب هاواي، والمناظر الطبيعية خارج كوكب الأرض على المريخ والقمر، ومسح المقرب الرقمي "سلون" للسماء (Sloan Digital Sky Survey)، أو اختصارًا SDSS) بطريقة جذابة وتفاعلية. في أعقاب الكوارث الطبيعية الأخيرة (مثل إعصار ساندي في عام 2012)، أتاحت Google Earth للملايين من الناس النفاذ إلى الصور للمساعدة على خدمات الاستجابة والتعافي من الكوارث (disaster-response-and recovery services).²⁶ ففي غضون أيام من زلزال هايتي عام 2010، جرى توليد خرائط الطريق لما بعد الكوارث (post-disaster roadmaps) بجهود المتطوعين من المواطنين الذين تقدموا بالمعلومات المحلية في الوقت المناسب لموقع وب المشهور OpenStreetMaps⁴⁴ الخاص بالمعلومات الجغرافية التطوعي¹³.

في العقد القادم، تعدّ الحوسبة المكانية بمجموعة من القدرات التحويلية. على سبيل المثال، على حين يعتمد العثور على الطريق اليوم على أقصر مدة سفر أو مسافة، تجرّب الشركات التسيير البيئي (eco-routing)، وهو العثور على الطرق التي تقلل من استهلاك الوقود وانبعثات غازات الاحتباس الحراري. التسيير الذكي الذي يتجنب الانعطاف نحو اليسار يختصر على شركة التوصيل UPS³ أكثر من ثلاثة ملايين غالون من الوقود سنويًا.²⁰ هذه الوفور يمكن أن تتضاعف عدة مرات عندما تكون خدمات التسيير البيئي متاحة للمستهلكين، وكذلك أصحاب أساطيل سيارات الأجرة، ومنها وسائل النقل العام.

يعدّ وجود الهواتف المحمولة في كل مكان فرصةً لجمع المعلومات عن جميع جوانب عالمنا والناس في العالم.¹⁷ وأظهرت الأبحاث إمكانات الهواتف النقالة ذات كاشف الحركة المدمج، التي يحملها المستعملون يوميًا للكشف عن الزلازل بعد ثوانٍ بعد بدايتها.¹¹ تستعمل شركات الملاحة (مثل ويز، <https://www.waze.com/>) على نحوٍ متزايدٍ سجلات الهاتف الجوال لتقدير مستويات حركة المرور على الطرق السريعة المزدهمة. وهناك حاجة متزايدة لبنية أساسية سبرانية⁴ (مثل مبادرة مكعب الأرض (Earth Cube) من المؤسسة الوطنية للعلوم، <http://www.nsf.gov/geo/earthcube/>) لتسهيل فهمنا للأرض بوصفها نظامًا معقدًا. سهّل التقدم التقني كثيرا جمع المعطيات من الحقل والمختبر ومحاكاة

الجغرافيا (geomatics)، الحساب الجغرافي (geocomputation)، علم المعلومات الجغرافية (geoinformation science)، وعلم المعلومات الجغرافية (GIS) (geographical information science)، والجغرافيا الحاسوبية (computational geography). وعلى نطاق أوسع، تشير الحوسبة المكانية إلى دراسة الحوسبة في الفضاءات المكانية والزمانية والمكانية الزمانية، على المجالات الجغرافية وغير الجغرافية على حدّ سواء.

³ United Parcel Service: خدمة الطرود المتحدة. (المترجم)

⁴ استعمل مصطلح البنية الأساسية السبرانية (cyber-infrastructure) لوصف البيئات البحثية التي تدعم تحصيل المعطيات المتقدم، وتخزين المعطيات، وإدارتها، وتكاملها، والتنقيب فيها، وإظهارها، وغيرها من خدمات الحوسبة ومعالجة المعلومات الموزعة بالاستفادة من الإنترنت خارج نطاق مؤسسة واحدة. في الاستعمال العلمي، البنية الأساسية السبرانية هي الحل التقني والاجتماعي لمشكلة الربط بكفاءة للمختبرات، والمعطيات، والحواشيب، والناس بغية التمكين من استنباط نظريات علمية ومعرفة جديدة. (المترجم)

منظومات الأرض. وقد أدى ذلك إلى النمو الهائل لمعطيات علوم الأرض (geoscience) والزيادة المثيرة في قدرتنا على استيعاب الظواهر المتنوعة في نماذج منظومات الأرض. قد يكون هذا التقدم مهمًا لفهم كوكبنا المتغير وعلوم فيزيائه (كما هو الحال في المحيطات والغلاف الجوي، واليابسة) والبيولوجيا (مثل النباتات والحيوانات وعلم البيئة)، والمجتمع (مثل تغير المناخ)¹⁹، والتنمية الاقتصادية المستدامة، وفهم التفاعلات بين الغذاء، والطاقة، وشبكات المياه،³⁶ والسيارات المتصلة والمستقلة¹.

كان العمل في مجال الحوسبة المكانية موسعًا في العقود الأخيرة، خصوصًا في السياق الجغرافي. ومن الصعب نقل اتساع وعمق هذا الحجم الضخم من التخصصات الهندسية من العمل إلى مجتمع الحوسبة العريض في مقالٍ بمجلة. هدفنا هنا هو إذن ذو شقين: عرض منظورٍ واسعٍ للحوسبة المكانية بالاستناد إلى المناقشات في ورشة عملٍ جمعيةٍ مجتمع الحوسبة عام 2012 (<http://cra.org/ccc/events/spatial-computing-workshop>)، والبدء في نقاشٍ أكثر اتساعًا بخصوص الدور الذي يمكن لمجتمع الحوسبة الأوسع أن يؤديه في هذا المجال المتعدد التخصصات الهندسية. سنقوم بذلك بوصف بضعة أمثلة من ورشة العمل دون محاولةٍ لإعطاء أولويةٍ لها أو جعلها شاملة؛ وثمة مزيد من الأمثلة مُدرج في ملحق ورشة العمل وفي مقالة Shekhar et al.⁵² وأخيرًا، فإننا ندعو إلى دعم الحقل المتعدد التخصصات الهندسية خارج نطاق الأمثلة المعروضة هنا. وسنضمّن العديد من الأشكال لتوضيح القصص الاجتماعية والرؤى من ورشة العمل.

إنجازات تحويلية

الجدول 1. منظمات الحوسبة المكانية الممثلة.

مؤتمر ACM SIGSPATIAL
الجمعية الدولية للمسح التصويري والاستشعار عن بعد
الاتحاد الجغرافي الدولي
جمعية IEEE لعلوم الأرض والاستشعار عن بعد
معهد الملاحية (ION)
جمعية مهندسي تجهيزات الصور والبصريات

كان الغرض من الحوسبة المكانية في البداية دعم التمثيل الحسابي وتحليل الخرائط والمعطيات الجغرافية الأخرى. وتركز نفوذها في تخصصات هندسية ذات درجة عالية من التخصص (كما هو مبين في المنظمات المهنية المدرجة في الجدول 1). ومنذ ذلك الحين، أصبح عددٌ من تقانات الحوسبة المكانية التحويلية مكامل بعمق في المجتمع عمومًا، لِتُساعد على الإجابة عن أنواع كثيرة من الأسئلة التي يطرحها البشر دائمًا. وهنا، سنصِف بإيجاز بضعة تطبيقاتٍ ونتائجٍ بحثية ذات درجةٍ عالية من الخطورة

واهتمامٍ واسع؛ لكن لاستكشافٍ أعمق للحوسبة المكانية، تُنظر الكتب التدريسية المختلفة^{3، 5، 6، 47، 50}، والدراسات^{45، 48} والموسوعتان^{16، 53} والمجلة⁴.

منظومة تحديد المواقع الشمولية. أين أنا على سطح الأرض؟ في القرن الثامن عشر، كانت "مشكلة خط الطول" 55 من بين أكثر المسائل تحديًا في مجال العلوم. فبسبب افتقارهم إلى القدرة على قياس خط الطول، وُجد البحارة في عصور الاستكشافات العظيمة أنفسهم ضائعين تمامًا في البحر في اللحظة التي غابت فيها اليابسة عن الأنظار. في نهاية المطاف، بمساعدة موحدة من البوصلات، والخرائط، ومواقع النجوم، ومقياس الزمن (ميفانتيّة clock) استُعملت على السفن المتحركة، أصبح من الممكن تحديد موقعنا بمستوى محدد من الدقة، حتى في وسط المحيط من دون معالم. ومع إطلاق منظومة GPS عام 1978 وتوفرها لاحقًا للاستعمال المدني، صار من الممكن الآن بسرعة وبدقة تحديد موقعنا في أي

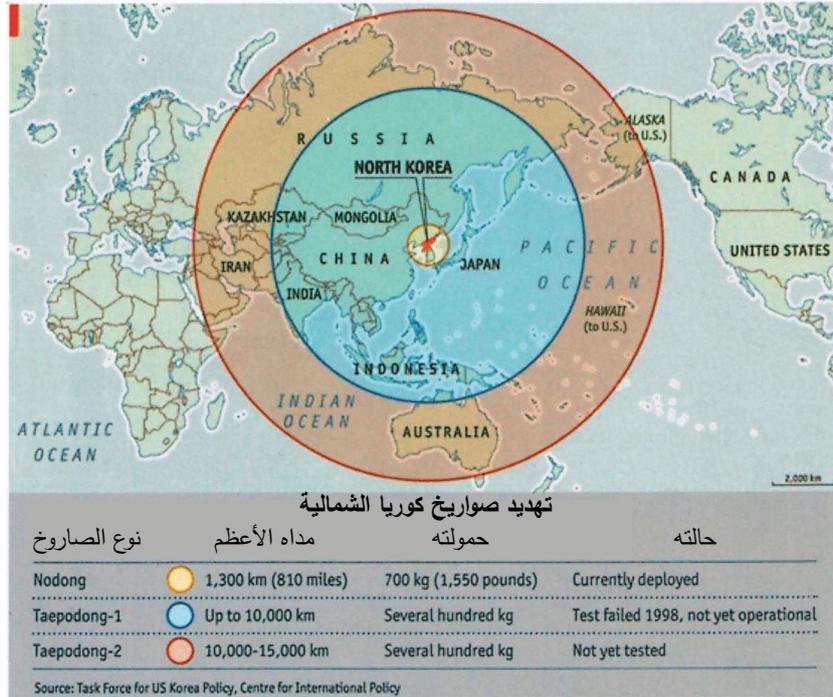
مكان على سطح الأرض. إن منظومة GPS هي مثال على منظومة GNSS التي مقرها في الفضاء،^{27,24} والتي توفر معلومات المكان والزمان في أي مكان على الأرض حيثما يوجد خط نظر، من دون عائق، إلى أربعة من سواتل الملاحة أو أكثر (من بضع عشرات).³⁹ هذه الشبكات، تُسهّل مهمة ضبط الوقت بدقة بالاعتماد على منظومة GNSS أداء الأنشطة اليومية (مثل مزامنة الميقاتيات في شبكات الحاسوب، وتشمل الشبكة (الإنترنت))، ونشر شبكات المجسات الموزعة جغرافياً لرصد الأجسام المتحركة (مثل الصواريخ والطائرات والسيارات والصفائح التكتونية)، وشبكات توزيع الطاقة الكهربائية. لقد مكّنت قدراتها في تحديد الموضع (localization) من توفير عدد من الخدمات المعتمدة على الموقع للمستخدمين النهائيين (مثل الملاحة منعطفاً⁵، والبحث المحلي، والترميز الجغرافي⁶). نجد منظومات GNSS والخدمات المعتمدة على الموقع ذات الصلة اليوم منشورة على نطاق واسع ومفيدة لأغراض التجارة، والعلم، والتتبع، والمراقبة. تنتشر منظومات GPS على نطاق واسع بسبب تجزئتها المنخفضة التكلفة المعتمدة على دارات التكامل الواسع النطاق (VLSI) التي يمكن بسهولة مكاملتها في الهواتف النقالة واللوحات (tablets).

الاستشعار عن بعد.³ ما هو الجزء من سطح الأرض الذي تملؤه الغابات؟ كيف تغيرت مساحة الغابات في العقود الأخيرة في مواجهة تغير المناخ، والتوسع الحضري، والنمو السكاني؟ تقليدياً، كانت الإجابة عن هذه الأسئلة بواسطة مسح يدوية للأراضي، وتتطلب جهداً عمالاً كثيفة، ومن ثم غالباً ما تقتصر على مناطق صغيرة. سمحت سواتل الاستشعار عن بعد الحديثة (مثل MODIS؛ <http://modis-land.gsfc.nasa.gov/>، و Landsat، <http://landsat.usgs.gov/>) بمراقبة تغيرات مساحة اليابسة باستمرار³¹ على نطاق عالمي. وإضافة إلى ذلك، تستطيع أدوات متخصصة أن تتحسّس الموارد الموجودة تحت السطح (مثل المياه الجوفية ومحيطاً جوفياً على Ganymede أكبر أقمار كوكب المشتري). وبسبب حجم المعطيات الضخمة، تُعد تقانات الحوسبة حاسمة في تخزين مجموعات المعطيات المتعلقة بالاستشعار عن بعد، والاستفسار عنها، وتحليلها. مجموعات المعطيات هذه ألهمت الباحثين أيضاً ابتكارات الحوسبة، مثل محركات Google Earth.⁴³

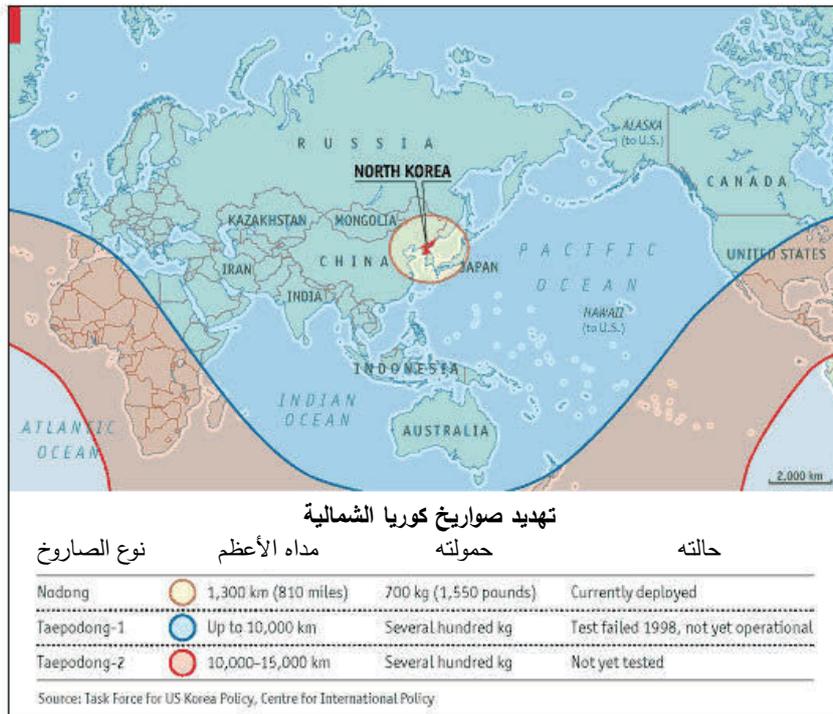
نظام المعلومات الجغرافية (GIS). ما هي الدول التي يمكن تَصَلُّها بصواريخ كوريا الشمالية؟ الشكل 1 هو مثال معروف للمعلومات الخاطئة بخصوص المسافة المحسوبة على خريطة مستوية باستعمال مسافة دائرية، وهذا الخطأ يُرتكب بسهولة بغياب مساعدة نظام GIS الذي يقدّم قياسات كروية. يمكن لنظام GIS أن يستوعب عدداً كبيراً من إسقاطات الخرائط التي يستعملها منتجو المعطيات الجغرافية الشائعة، ويساعد على دمج معطيات الخرائط من مصادر متنوعة. ولما كانت الأرض ليست كرة مثالية، فإنّ GIS أيضاً يستوعب تمثيلات أكثر دقة للأرض، ومنها التمثيلات الإهليلجية (ellipsoid) والتمثيلات غير الوسيطة التي تستعمل نقاطاً مرجعية جيوديزية برية لأغراض تحديد الموضع. يتلقى GIS المعطيات المكانية، ويخزنها، ويحللها، ويديرها، ويظهرها،^{22,53} فمثلاً، تُعد خريطة للأرض تمثيلاً لسطح منحني على مستوى. وفي حين تحتفظ إسقاطات الخرائط كثيراً بالخصائص الطبولوجية (إلا عند حدود الخريطة)، فإنّ الحفاظ على الخصائص المترية (مثل المسافة والمساحة) يعتمد على الإسقاط المستعمل. يمتاز GIS بعدد من القدرات الفريدة (مثل رسم الخرائط، والمعطيات الجيوديزية، وطبقات الخريطة). يمكن لنظام GIS أيضاً ضمّ الجداول على أساس الهندسة، لدعم الاستفسارات

⁵ turn-by-turn navigation: هي سمة من سمات بعض أجهزة الملاحة GPS تعرض مسارا مختاراً للمستخدم وتروده بإرشادات متواصلة على شكل تعليمات منطوقة (مثلاً: انعطف الى اليسار أو اليمين) ومرئية (اسم الشارع، ومقدار المسافة إلى منعطف). (المترجم)

⁶ Geocoding: تحويل العناوين إلى إحداثيات جغرافية لوضعها على خريطة. (المترجم)



أ- الأرض المسطحة



ب- الأرض الكروية

الشكل 1. نظام المعلومات الجغرافية. في مقال عام 2003 في مجلة الإيكونوميست، جرى التقليل كثيراً من المسافة التي يمكن للصاروخ الكورية الشمالية أن تقطعها لأن خريطتها لم تتمثل الشكل الكروي للأرض؛ الإصدار الصحيح مبين في الجزء ب.⁹

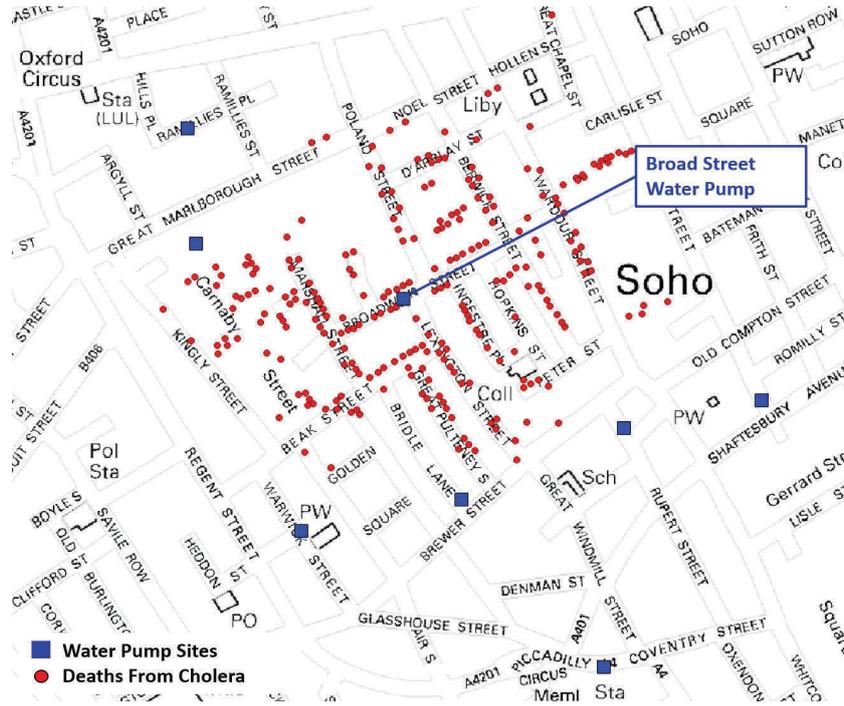
المكانية والتحليل الإحصائي، كما نستكشف ذلك في الفقرتين التاليتين. لقد استفاد نظام GIS كثيرًا من التطورات الحاصلة في الحوسبة (مثلًا الخوارزميات، مثل تمشيط مستوي⁷) وبنى المعطيات (مثل الشبكات غير النظامية المثلثية المتعلقة بإعداد خريطة (map rendering) أو مراكبة خريطة⁸ (map overlay)).

نُظِم إدارة قواعد المعطيات المكانية. ضمن مسح السماء الرقمي بواسطة "سلون" (Sloan Digital Sky Survey)، اعثر على أزواج المجرات التي تقع ضمن نطاق 30 قوس-ثانية الواحدة عن الأخرى. أي البيوت سوف يغمرها على الأرجح ارتفاع منسوب مياه البحر الناجم عن ارتفاع درجة الحرارة عالميًا، أو رشقاتٍ سحابية، أو ذوبان الثلوج في الربيع؟ قبل تطوير قواعد المعطيات المكانية، تطلبت مثل هذه الاستعلامات المكانية برمجةً واسعة، وعانت من أوقاتٍ حسابٍ طويلة بسبب عدم التطابق بين المعطيات المكانية ببعدين (2D) وأنواع المعطيات الوحيدة البعد (1D) (مثل رقم) والفهارس التي تستعملها نظم قواعد المعطيات التقليدية مثل (شجرة B+). وإضافةً إلى ذلك، تُعدّ مجموعة أنواع معطياتٍ مكانيةٍ ساذجةٍ غير ملائمة للاستعلامات المتعددة المراحل، لأن نتيجة بعض الاستعلامات (مثل اتحاد مصلعاتٍ منفصلة) لا يمكن بطبيعة الحال أن تكون ممثلةً بنقطةٍ أو خطٍ أو مضلع. أدخلت قواعد المعطيات المكانية⁵⁰ (مثل Oracle Spatial و PostGIS) أنواع معطياتٍ مكانية (مثل السمات البسيطة في OGIS³⁸)، وعمليات (مثل الداخل (inside) والمسافة (distance))، وبنى معطياتٍ مكانية (مثل الأشجار R ومخططات فورونوي (Voronoi))، وخوارزميات (مثل أقصر مسار، وأقرب جارٍ، واستعلام المدى) وذلك لتمثيل استعلاماتٍ مكانيةٍ متسايرةٍ متعددة المراحل والإجابة عنها. وأسفرت جهود البرمجة المنخفضة عن رمازٍ أكثر ترصاً وأزمنة استجابةٍ أقصر.

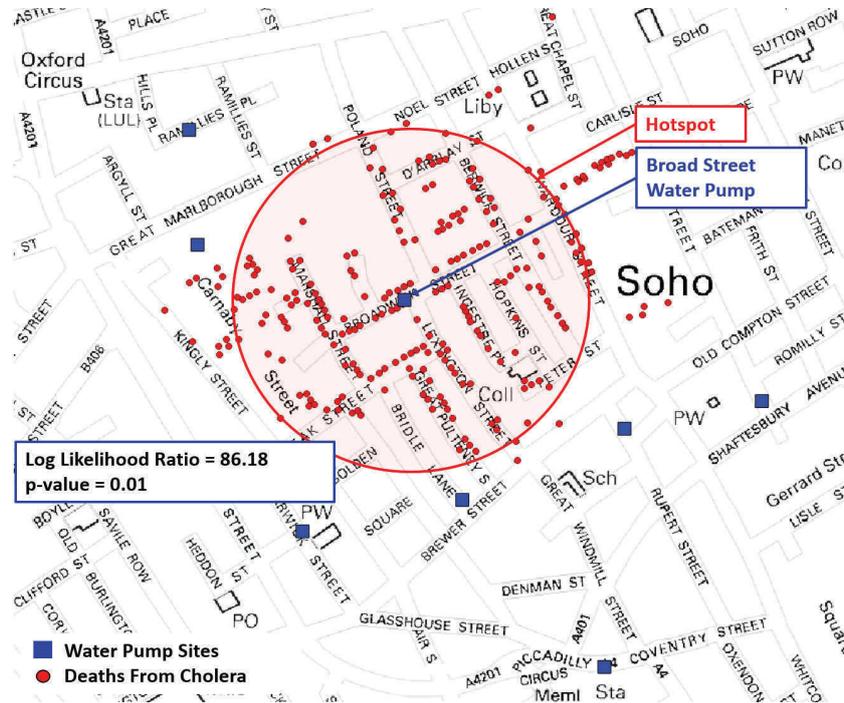
إحصاءات مكانية. ما هي المناطق في شريحة السيليكون التي تُبدي تركيزًا عاليًا غير عاديٍّ من العيوب؟ هل كان هناك نقشٌ مرصّيٌّ؟ أين؟ في عام 1854، رصد د. جون سنو مواقع الكوليرا يدويًا على خريطة شوارع لندن ليتعرّف بصريًا بؤرة النقيش الساخنة حول مضخة المياه في شارع Broad (انظر الشكل 2-أ). استغرق الأمر عدة أيام لإجراء هذا التحليل حتى لمرضٍ منفردٍ على مساحةٍ جغرافيةٍ صغيرة. اليوم، تراقب وكالات الصحة العامة العشرات من الأمراض المعدية على مساحاتٍ جغرافيةٍ واسعة جدًا بواسطة اختباراتٍ إحصائيةٍ مكانيةٍ (الشكل 2-ب) مصممة للكشف عن النقيش (مثل إحصاءات مسحية) والبؤر الساخنة، إضافةً إلى تمييز هذه الأحداث عن التغيرات الطبيعية. تُستعمل التقنيات الإحصائية المكانية روتينيًا أيضًا في السلامة العامة (مثل البؤر الساخنة لتقارير الجريمة)، وتصميم دارات VLSI (مثل البؤر الساخنة للعيوب على شُرَحات السيليكون)، والتنبؤ بالطقس (مثل تمثيل المعطيات)، والنقل (مثل البؤر الساخنة للحوادث) والتعدين (مثل طريقة Kriging)، والصحة العامة (مثل الكشف عن تجمع سرطاني)، والزراعة (مثل تصميم مناطق إدارة للزراعة الدقيقة، وتصميم العينة لتعداد زراعي). تعالج النظريات الإحصائية المكانية (مثل الإجراءات النقطية، والارتباط الذاتي المكاني، والإحصاءات الجيولوجية) تحدياتٍ فريدة (مثل انتهاك افتراض التوزيع المتطابق المستقل) في

⁷ في الهندسة الحسابية، خوارزمية تمشيط مستوي plane sweep أو خوارزمية خط تمشيط sweep line هي نموذجٌ خوارزمي يستعمل خط تمشيطٍ أو سطح تمشيطٍ مفاهيميًا لحل مسائل مختلفة في الفضاء الإقليدية. وهي إحدى التقنيات الأساسية في الهندسة الحسابية. الفكرة وراء خوارزميات من هذا النوع هي أن نتصور أننا نزيح خطًا (خطًا عموديًا غالبًا) أو ننقله على المستوي، ونتوقف عند بعض النقاط. وتقتصر العمليات الهندسية على الأغراض الهندسية التي إما أن تتقاطع مع خط التمشيط وإما أن تكون في المنطقة المجاورة مباشرة له كلما توقف، ونحصل على الحل الكامل حالما يجتاز الخط كل الأغراض. (المترجم)

⁸ تُعرف أيضًا بتنظيم الخريطة في طبقات layering. (المترجم)



(أ)



(ب)

الشكل 2. تحليل مواقع ضخ المياه والوفيات بسبب الكوليرا في لندن في عام 1854:
 54 (أ) مواقع الضخ والوفيات. و (ب) نتيجة الاختبار الإحصائي المكاني.

تطبيق النماذج الإحصائية التقليدية (مثل الانحدار الخطي، وارتباط بيرسون الذاتي) على المعطيات الجغرافية. ومع أن التقنيات الإحصائية المكانية هي، حسابياً وكثافةً معطياتٍ، أكبر بعشر مرات من التقنيات الإحصائية التقليدية، فإن المتاحية المتزايدة في العقود الأخيرة لتقانات الحوسبة العالية الأداء والمعطيات غير الباهظة الثمن (مثل المُحسَّات (sensors)، ونظام إدارة قواعد المعطيات المكانية، ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)) قد يسَّرت السبيل لاهتمامٍ أوسع في الأساليب الإحصائية المكانية واعتمادها.¹²

تغيرات حديثة

في أواخر القرن العشرين، أنتجت معظم الخرائط مجموعةً صغيرة من الناس المدربين تدريباً عالياً في الوكالات الحكومية وشركات المُسوح. واستُعملت مؤسسات (مثل وزارة الدفاع الأمريكية وشركات التنقيب عن النفط) برمجياتٍ رفيعة التخصص (مثل Esri و ArcGIS و Oracle Spatial) لتحرير المعلومات الجغرافية وتحليلها. وكما يلخص الجدول 2، غيرت التطورات الحديثة في مجال الحوسبة المكانية هذا الوضع تغييراً كبيراً. يُعدّ المستعملون الذين لديهم هواتف خلوية ونفاذاً إلى الإنترنت بالمليارات، وهذا يعني عملياً أن الكوكب بأسره يستعمل التقانات المكانية. وقد زف نجاحها الباهر توقعات المستعملين للحوسبة المكانية. وفي الوقت نفسه، يقلق المستعملون قلقاً متزايداً بشأن احتمال إساءة استعمال معطيات الموقع.

الجدول 2. أحدث التغييرات في مجال الحوسبة المكانية.

أواخر القرن العشرين	القرن الواحد والعشرين وما بعد
مجموعات متطورة (مثل وزارة الدفاع وشركات استكشاف النفط) تستعمل تقانات منظومة GIS.	المليارات من الناس تستعمل خدمات معتمدة على الموقع ويحدثون الخرائط الفعلية.
الناس المدربون تدريباً عالياً في الجهات الحكومية وشركات المسح ينتجون الخرائط.	المليارات من الناس هم صانعو خرائط، والعديد من الظواهر قابلة للرصد.
بالبرمجيات المتخصصة فقط (مثل ArcGIS، و Oracle Spatial) يمكن تعديل أو تحليل المعلومات الجغرافية.	أصبح المزيد والمزيد من المنصات واعياً للموقع.
توقعات المستعملين كانت متواضعة (مثل المساعدة على إنتاج الخرائط الورقية ونظيرتها الإلكترونية وتوزيعها).	تتزايد توقعات المستعملين بسبب الإمكانيات والمخاطر الهائلة.

المليارات من البشر تستعمل خدمات معتمدة على الموقع وتُحدِّث الخرائط الفعلية. يسَّر انتشارُ التقانات المعتمدة على الوب، والهواتف الخلوية، والساعات الذكية، وتجهيزات GPS للمستهلكين، ومواقع التواصل الاجتماعية المعتمدة على الموقع، الاستعمال الواسع النطاق للخدمات،⁴⁸ وتجعل خدمات الإنترنت (مثل Google Earth وخريطة الطريق المفتوحة

(OpenStreetMap) منظومة GIS قريبة من الجماهير. ويوجد الهواتف الخلوية وتجهيزات GPS للمستهلكين، أصبح المليارات من الناس يستعملون الخدمات (مثل Enhanced 119⁹ وتطبيقات الملاحة). كما أن الخدمات Uber, Waze، خرائط جوجل، تسجيل الدخول في الفيسبوك، وغير ذلك من وسائل الإعلام الاجتماعية الأخرى المعتمدة على الموقع، يستعملها أيضاً أكثر من مليار شخص في جميع أنحاء العالم.

المليارات من الناس يعملون في رسم الخرائط، والعديد من الظواهر يجري رصدها. إن مصدر المعطيات الجيولوجية هو على نحو متزايد مستعملو الهواتف الذكية الذين يمكن أن يسهموا إيجابياً أو حتى سلبياً في المعلومات الجغرافية الخاصة بهم. والأثر الفوري لهذا هو امتداد أوسع للمساحين لجميع أنواع المعطيات المكانية وزيادة في أعدادهم. ويتزايد عدد الظواهر التي أصبحت تُرصد ملاحظتها، لأن المُساحات تزداد غنىً للخرائط الثلاثية الأبعاد، في حين يجري التقاط أطراف أوسع عند مَيَزٍ (دقة) أكثر نعومة.

منصات متعددة واعية للموقع. كان دعم الحوسبة المكانية تقليدياً مقتصرًا على طبقات البرمجيات التطبيقية (مثل نظام ArcGIS)، وخدمات الويب (مثل خرائط جوجل و MapQuest)، وإدارة قواعد المعطيات (مثل SQL3/OGIS). وفي العقد الماضي، برز دعم الحوسبة المكانية على عدة مستويات في كدسة الحوسبة، منها HTML5، وعمليات التسجيل في وسائل الاعلام الاجتماعية، وبروتوكول الإنترنت الإصدار 6، وخدمات المواقع المفتوحة.

التوقعات المتزايدة بسبب الإمكانيات والمخاطر الهائلة. إن الخدمات المعتمدة على الموقع، والمساعدات الملاحة، والخرائط التفاعلية، تتجاوز قطعًا توقعات المستعملين. فقد أكسبتها قواعدُها البديهية وسهولة استعمالها سُمةً راسخة. ويدرك المستهلكون إمكانيات الحوسبة المكانية في الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وتعزيز الأمن السيبراني، وتحسين ثقة المستهلك، إن لم نقل التصدي للعديد من المشاكل الاجتماعية الأخرى. ومع ذلك، فإن النجاح الكبير لتقانات الحوسبة المكانية يرفع أيضاً رايات حمراء بين المستعملين. ومن ثم يجب أن تعالج المخاوف المتعلقة بالخصوصية الجغرافية لتجنب المواطنين الخائفين، وتعريض الكيانات الاقتصادية للمسؤولية، وتقويض ثقة الجمهور.

فُرصٌ قصيرة الأجل

تعبر التغيرات العميقة المذكورة هنا عن السبل الناشئة من الأبحاث في مجال الحوسبة المكانية وتثير عدداً من الفرص الجديدة والمثيرة.

منظومات الحقيقة المزيّدة. تُثري الحقيقة المزيّدة (augmented reality) تصورنا للعالم الحقيقي عن طريق المراكبة في الوقت الحقيقي لوسائل الإعلام المتحاذية مكانياً؛ فعلى سبيل المثال، يمكن أن تُغيّر وجهة نظر المستعمل بخصوص البيئة عن طريق إضافة بيانات حاسوبية لجلب معلومات من الماضي أو الحاضر أو المستقبل عن مكان أو غرض، كما في الشكل 3 والشكل 4. الحقيقة المزيّدة مستعملة بالفعل في شاشات العرض الموضوعة فوق الرؤوس في قمرات قيادة الطائرات، وأصبحت مِيزةً شعبيةً في تطبيقات الهاتف الذكي. على حين صارت النظارات الحاسوبية الخفيفة الوزن القوية أكثر شيوعاً، ستؤدي الحقيقة المزيّدة دوراً أكثر أهمية في الطب، والهندسة المعمارية، والسياحة، والتجارة،

⁹ Enhanced 119 (أو اختصاراً E-911) هو نظام يُستعمل في أمريكا الشمالية لربط المتصلين عند حالات الطوارئ بالموارد العامة المناسبة. (المترجم)

والهندسة، والتخطيط المدني/الحضري، والتجميع والصيانة، وأيضاً عموماً في زيادة الذكاء¹⁰ اليومي. تنشأ التحديات البحثية الجديدة في الحوسبة المكانية المتعلقة بهذا المجال من الحاجة إلى خوارزميات جديدة، إضافةً إلى التعاون بين المستعملين والسحابة، وتقدير المواضع الثلاثية الأبعاد (3D) كلياً ومناحي الاتجاهات (الوضعيات) للناس والتجهيزات، وتسجيل الأشياء المادية والافتراضية. ما هي الواجهات الطبيعية التي يمكن تكييفها لتقوية جميع الحواس البشرية (مثل الرؤية، والسمع، واللمس) والأعضاء المتحركة (مثل الإبهام والأصابع واليدين والساقين والعينين والرأس والجذع) للتفاعل مع الحقيقة المزيّدة في مهام متعددة؟ كيف يمكن للتقانة النقاط الأجسام البشرية بدرجات كاملة من الحرية، وتمثيلها في الفضاء الافتراضي؟

التحليلات التنبؤية المكانية. أبرز التقدم في مجال الإحصاءات المكانية⁴⁵ والتقيب في المعطيات المكانية⁵¹ خلال العقد الماضي إكثافاً على تحسين الضبط الذي تبديه التنبؤات وتوقيتها بخصوص المسار المستقبلي للأعاصير، وانتشار الأمراض المعدية، والازدحام المروري. لهذه الأسئلة أساليب تنبؤ تقليدية متضاربة^{35,32} بسبب تحديات مثل الارتباط الذاتي المكاني، وعدم السكون، وأثر الحافة. قد لا تقدر النماذج المكانية بثمن عند إجراء توقعات مكانية-زمانية بشأن مجموعة واسعة من المسائل، ومنها موقع نمو الورم المحتمل في جسم الإنسان، أو انتشار الشقوق في أجنحة الطائرات أو الجسور على الطرق السريعة. ومن الأسئلة التي تحتاج إلى إجابة في هذا المجال البحثي ما يلي: كيف يمكن تعميم تقنيات التعلم الآلي³⁰ لمواجهة التحديات المكانية-الزمانية للارتباط الذاتي، وعدم السكون، وعدم التجانس، وتعدي المقاييس؟ كيف يمكن التقيب عن أنماط مكانية-زمانية متكررة على الرغم من التشوهات الناجمة عن المعاملات (مثل فقدان علاقات الجوار أو حسابها المزدوج)؟ ما هي الطرق القابلة للتصعد والقوية عددياً المتاحة لحساب معيّنات مصفوفات مخلخلة (sparse) (لكن غير مقيدة النطاق) كبيرة جداً في سياق تقدير وسيط الأرجحية العظمى (maximum likelihood) لنمذجة الاتحاد الذاتي

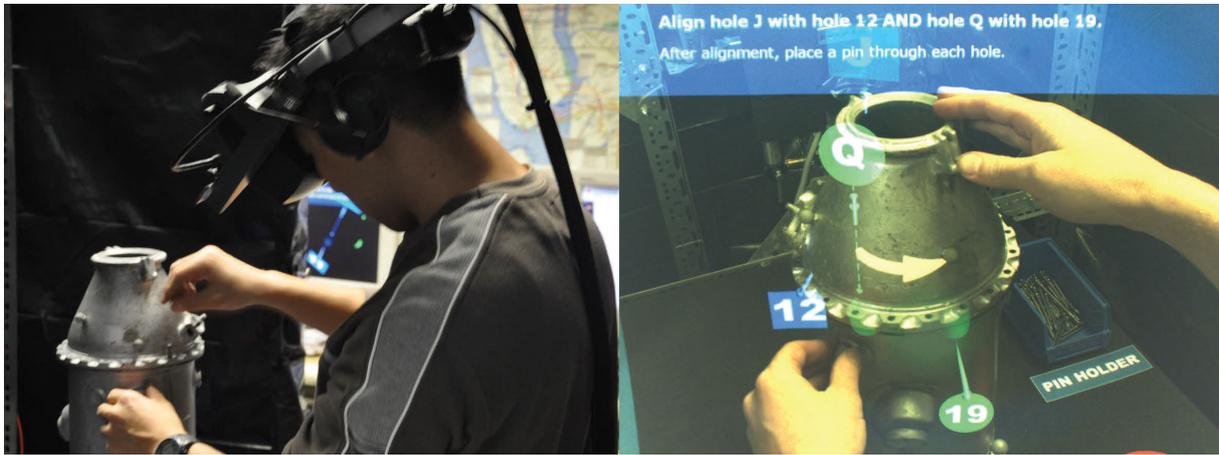


الشكل 3. أصبحت تطبيقات الحقيقة المزيّدة شائعة للهواتف الذكية.

¹⁰ intelligence amplification: يعني الاستعمال الفعّال لتقانة المعلومات لزيادة الذكاء البشري. (المترجم)

المكاني (spatial auto-regression)؟

النظم والأساطيل والحشود المتعاونة جغرافياً. تُعدُّ الحوسبةُ المكانيةُ بنقل الإنترنت إلى ما وراء الفضاء السبراني إلى إنترنت الأشياء الواعية للمواقع، لتسمحَ بربط البنى الثابتة بالأجسام المتحركة (مثل السيارات، والمشاة، والدراجات الهوائية)، وتُساعدَ على تنسيق الحركة وفهم نماذج التنقل في المدن وخارجها؛ على سبيل المثال، ربطتُ مدينةُ لوس انجلوس في نيسان (أبريل) 2013 جميعَ إشاراتِها الضوئية الـ 4500 لتحسين تدفق حركة المرور خلال ساعة الذروة. تسمح الحوسبة المكانية للفرق (مجموعة من الناس) الذكية للاجتماع بسرعة لأجل قضية مشتركة، للتقليل من الحاجة إلى تعيين شخص بموضع القيادة؛ يمكن في المستقبل إحلال التعاون بين السائقين، والسيارات الذكية، والبنية الأساسية للحد من الازدحام، والإحلاء بسرعة، وتعزيز السلامة. يثير هذا التعاون تحدياً يتمثل في "الثقة" لدى استعمال مجموعة من الوكلاء المكانيين لأغراض الحساب وصنع القرار. كيف يمكن لوكلاء موزعة جغرافياً (مثل الإشارات والسيارات الذكية) أن تتعاون بطريقةٍ جديدة بالثقة، حتى في مواجهة خداع منظومة GPS؟



الشكل 4. المساعدة التي تقدمها الحقيقة المزيده التجريبية في تجميع الطائرات ذات المحرك¹¹.

نقل الحوسبة المكانية إلى الداخل، وتحت الماء، وتحت الأرض. مع أن إشارات منظومة GPS متوفرة في جميع أنحاء العالم، فإنها غير متوفرة إلى حد بعيد في الأماكن المغلقة حيث تُمضي -نحن البشر- 80% إلى 90% من وقتنا.⁵⁶ الخدمات المعتمدة على الموقع (مثل الملاحة الطرقيّة) تملأ حالياً 10% إلى 20% من وقتنا، ولكن بسبب التقانات الناشئة، مثل تحديد الموضع في الأماكن المغلقة، والتسيير، والملاحة (المتوفرة في المطارات والمستشفيات الكبرى)، فإن التوقع الجديد في القرن الحادي والعشرين هو أن السياق المكاني الخاص بنا سيكون متوفرًا أساسًا في كل وقت، وهذا ما يرفع من شأن تحديد الموضع في الأماكن المغلقة وتحت الأرض (مثل المناجم والأنفاق) بواسطة أبراج الهاتف المحمول، وأجهزة الإرسال الواي-فاي، وغيرها من البنى الأساسية في الأماكن المغلقة. يُبني تحديد الموضع في الأماكن المغلقة العديد من الأسئلة البحثية الجديدة، ومن ذلك: ما هي الخوارزميات المتصعدة التي يمكن أن تولد خرائط للملاحة للأماكن المغلقة

Henderson, S. and Feiner, S. Augmented reality in the psychomotor phase of a procedural task. In *Proceedings of the IEEE* ¹¹ *International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (2011)

انطلاقاً من رسوم CAD؟ ماذا عن المباني التي لا يتوفر لها رسوم CAD؟ كيف يمكننا القيام بتحديدٍ موثوقٍ للموضع في الأماكن المغلقة حيث إشارات منظومة GPS قد تكون مُوهَّنة أو ممنوعة؟

الاحتياجات البحثية الطويلة الأجل

توفّر الحوسبة المكانية للمجتمع قيمةً كبيرة، ولكن التحديات كبيرة، وتُظهر أيضاً من تلك النجاحات. ويتطلب التعامل مع تلك التحديات بالفعل خبرةً خارج نطاق الحوسبة المكانية نفسها. أولاً، يتطلب التغلبُ على التحديات، المتمثلة بكون الجمهور هم بحكم الأمر الواقع صانعو الخرائط وكون معظم الظواهر قابلة للرصد، أن يجري الانتقالُ من دمج المعطيات من مصادر قليلةٍ موثوقةٍ إلى تضافر المعطيات من العديد من المتطوعين. ثانياً، سيتقلّبُ التغلبُ على التحدي، المتمثل بتجهيز منصاتٍ متعددة لتكون واعيةً للموقع، الحوسبة المكانية من عدد قليل من المنصات (مثل الهواتف الخلوية) إلى جميع المنصات تقريباً (مثل المُحسّات، والحواسيب الشخصية، والسُّحُب). ثالثاً، هناك حاجةٌ إلى فهمٍ أعمقٍ للإدراك البشري لضمان استفادة جميع أفراد المجتمع من الخدمات المعتمدة على الموقع. أخيراً، سيكون على الحوسبة المكانية الاهتمامُ بثقة المستعملين والقلقُ بشأن الخصوصية.

من الدمج إلى التضافر. تاريخياً، جرى تصميم منتجاتٍ برمجياتٍ منظومة GIS الشعبية (مثل مجموعة Arc من Esri، و PCI Geomatica، و ERDAS IMAGINE) للمعطيات الهندسية (مثل النقطة، والخطوط، والمضلعات) والمعطيات النقطية (مثل صور الأقمار الصناعية). لكنّ كمّاً متزايداً من المعطيات الجغرافية يأتي من المواطنين المتطوعين بواسطة تسجيلات الدخول، والتغريدات، والأمارات الجغرافية، والتقارير الجغرافية من Ushahidi، والتبرعات بمسارات GPS. تُثير المعلومات الجغرافية التطوعية تحدياتٍ تتعلق بأخطاء المعطيات، والثقة بها، وتَحيزها. وقد تكون النتائج السياسية والقانونية للأخطاء في تقانة الحوسبة المكانية مرتفعة؛ على سبيل المثال، بعد إعصار كاترينا في عام 2005، كان هناك قلق كبير في مجلس النواب الأمريكي بشأن حقيقة أن التأخير في الإفرج عن خرائط نيو أورليانز الاتحادية جعلَ معظم الأحياء المعرضة للفيضانات تتباطأ في إعادة البناء، ووُلد شكوكاً في الوقت نفسه.¹⁵ وقد تزداد هذه التعقيدات السياسية/القانونية سوءاً في المستقبل. يتطلب التصدي لهذه التحديات تحولاً من أفكار الدمج التقليدي للمعطيات إلى نموذجٍ تضافر المعطيات الذي هو أوسع، وهذا ما يُثير مزيداً من المسائل؛ على سبيل المثال، غالباً ما يستعمل المتطوعون أسماء الأماكن (مثل وادي السليكون) وحروف الجر (مثل قُرْب، في، عند، على طول) بدلاً من إحداثيات رقمية (مثل خطوط الطول والعرض). هناك حاجةٌ إذن إلى أساليبٍ لنقلِ بنى المعطيات والخوارزميات الحالية المعتمدة على الإحداثيات العددية إلى معطياتٍ مكانية ذات أسماء أماكن وحروف جرٍ مكانية. وإضافةً إلى ذلك، هناك حاجةٌ إلى مقاييس للحوسبة المكانية والزمانية-المكانية بغية استعمال المعلومات الجغرافية التطوعية بفعاليةٍ أشد، بواسطة: إجراءات تحسين الجودة (مثل قيام نِدِّ بالمراجعة واختبار الحداثة)، وتوثيق قياسات الجودة (مثل ضبط الموضع).

من المُحسّات إلى السُّحُب. في القرن العشرين، مثلّ الوجة العننيّ للحوسبة المكانية برمجيات (مثل ArcGIS وقواعد المعطيات المكانية من أوراكل). واليوم، تتأثر جميع مستويات كدسة الحوسبة في النُظُم المكانية بحقيقةٍ هي أنّ المزيد والمزيد من المنصات هي واعيةٌ للموقع، وذلك بسبب الانتشار الواسع للهواتف الذكية والفضاءات الافتراضية المعتمدة على الويب. هناك حاجةٌ إلى بنيةٍ أساسيةٍ جديدةٍ لدعم الحوسبة المكانية في الطبقات السفلى من كدسة الحوسبة بحيث يجري تخصيصُ أنواع المعطيات والعمليات المكانية تحصيلاً مناسباً في العتاد، ولغات المجمع، ونوى نظام

التشغيل، ونُظِم وقت التشغيل، وكدسات الشبكة، ونُظِم إدارة قواعد المعطيات، ونظم المعلومات الجغرافية، والبرامج التطبيقية. وهناك حاجة إلى مقدرات الحقيقة المزيدة لاستيعاب تجهيزات مثل مظهر النظارة والهاتف الذكي، لأغراض استرجاع المعلومات وتعرّفها وتقديمها على نحو مؤتمت ودقيق ومتصعد. وتشمل فرص الإحساس توفير بنية أساسية كلبية الانتشار لتحديد الموضع بمقياس سنتمتري وفي الزمن الحقيقي في مجالات: الاستجابة لحالات الطوارئ، وإدارة الصحة، والوعي للموضع في الوقت الحقيقي لتوزيع المياه والطاقة. تفتح المسائل الحاسوبية التي تثيرها المعطيات الكبيرة المكانية فرصاً بحثية جديدة في مجال الحوسبة السحابية تتعلق بمعالجة حجم وتنوع ومعدل تحديث مجموعات المعطيات المكانية التي تتجاوز مقدرات تقانات الحوسبة المكانية التي يشيع استعمالها بغية تعلم المعطيات، وإدارتها، ومعالجتها بجهود معقولة.

الإدراك المكاني أولاً. حُدِّت خدمات الحوسبة المكانية في السابق لقلّة فقط من مهنيي GIS المدربين الذين يشتركون في لغة تقنية متخصصة غير مفهومة بسهولة لدى الجمهور العام. مع استعمال المواطنين اليومي للخدمات المعتمدة على الموقع، وكونهم صاروا مكافئين لصانعي الخرائط أنفسهم، صارت الحاجة اليوم ملحة لفهم سيكولوجية الإدراك المكاني. وهذا الفهم سوف يحسّن استعمال وتصميم الخرائط وغيرها من منتجات المعلومات الجغرافية لدى جزء كبير من المجتمع. ثمة حاجة إلى مزيد من الأبحاث بشأن المساعدة الإدراكية المكانية بغية استكشاف أفكار مثل التسيير الطريقي بالاعتماد على نقاط علام أرضية للأفراد الذين لا يستطيعون قراءة الخرائط أو التنقل داخل فضاء جديد (مثل مبنى أو حرم) حيث ليس لكل المناطق (مثل الممرات) أسماء. إنّ من شأن فهم السلوك الجماعي من حيث التخطيط التشاركي (مثل التعاون على تصميم المناظر الطبيعية، والجسور، والأبنية) أو التجمعات الذكية لتتسّق نقل الموقع، أن يعزّز خدمات الحوسبة المكانية لمجموعات من الناس، في مقابل الأفراد. ينبغي أيضاً إحضار السياق (مثلاً من هم الذين يغردون، وأين هم، والمزايا المادية في الموقف) إلى هذه المشاهد بغية استقصاء فرص جديدة لتفسير التغيرات وذلك لإنذارات التنبيه في حالات الطوارئ (مثل الكوارث الطبيعية كإعصار ساندي). يجب زيادة الاستقصاء في طرق جديدة لفهم القدرات المكانية لدينا (مثل الملاحة، وتعلم التخطيطات المكانية، وقراءة الخرائط) وفي طريقة تفكير المجموعات المختلفة (مثل السائقين والمشاة) بخصوص المكان وذلك للاستفادة من بعض هذه الفرص: كيف يمتل البشر الخرائط المعرفية ويتعلمونها؟ كيف يمكن أن نُحسّن مفاهيم الإدراك المكاني قابلية استعمال خدمات الحوسبة المكانية؟ كيف يمكننا إنشاء واجهات المستعمل التي تسدّ الفجوة بين الحوسبة المكانية "على مقياس صغير"، -عادةً على نُظْم سطح المكتب ذات شاشة عرض ستيريو وتتبع ثلاثي الأبعاد (3D) دقيق في الأماكن المغلقة- وبين الحوسبة المكانية "على مقياس كبير"، عادةً في الهواء الطلق باستعمال منظومات GNSS الخشنة في التجهيزات المحمولة أو اللبوسة؟

الخصوصية الجغرافية. في حين توفر معلومات الموقع (مثل منظومة GPS في الهواتف والسيارات) قيمة كبيرة لموظفي الاستجابة للطوارئ، والمستهلكين، والصناعة، فإنّ تيارات من هذه المعطيات تُقرض أيضاً لتساؤلات جديدة متصلة بالخصوصية والثقة تتعلق باستعمال الموقع الجغرافي والمراقبة الجغرافية لرصد المواطنين والتحكم فيهم، أو ما يسمّى أحياناً المطاردة، والعبودية الجغرافية^{7,12}، والخصوصية الجغرافية^{42,41,34,18} على سبيل المثال، أنّهم الاتحاد الأوربي موقع Google Street View (<https://www.google.com/maps/streetview/>) بانتهاك الخصوصية، وهذا ما جعل الموقع

¹² تُعرّف العبودية الجغرافية geoslavery على أنها ممارسة يقوم بها كيان (السيد)، تتمثل في رصد قسري أو خاضع للرقابة لموقع مادي لشخص آخر (العبد) والتحكم فيه. (المترجم)

يعاني من حظر مؤقت في عدد من البلدان. لا يزال تحقيق التوازن بين المنفعة والخصوصية تحديًا صعبًا. أسفرت جهود علوم الحاسوب لتعظيم معلومات الموقع، إلى حد بعيد عن نتائج سلبية حتى الآن. العديد من الأفراد من ثم يترددون في الانخراط في التجارة بالهاتف النقال بسبب مخاوف بشأن خصوصية مواقعهم، ومساراتهم، ومعلوماتهم الشخصية الزمانية-المكانية الأخرى.¹⁸ يحتاج علماء الحاسوب إلى الانضمام إلى القوى الفاعلة إلى جانب صنّاع السياسة وغيرهم من المدافعين لكسب ثقة المستهلك. يجب أن توضع مبادئ قانونية جديدة لثماشي "ممارسات المعلومات العادلة"،⁴² وخاصة تلك المتصلة بالإشعار، والشفافية، والإجماع، والنزاهة، والمساءلة. ومع ذلك، تُثير مثل هذه الموازنة أيضًا أسئلة، ومن ذلك: ما الذي يمكن اعتباره "إشعارًا ملائمًا" لجمع المعطيات المكانية؟ كيف ينبغي أن يُطلب الإجماع؟ ما هي المعلومات التي يجب أن تُخزن، وإلى متى؟ وعلى نطاق أوسع، متى يؤدي تحديدُ الموضوع (مثل تتبع منظومة GPS) إلى انتهاك الخصوصية؟ أيعُدُّ تخفيضُ الميز (الدقة) الزمانية-المكانية كافيًا لتنشيط المطاردة وغيرها من أشكال العبودية الجغرافية؟ كيف يمكننا تحقيقُ الاحتياجات المجتمعية (مثل تتبع الأمراض المعدية) وفي الوقت ذاته حماية الجغرافية الخصوصية الفردية؟

خلاصة

تعد الحوسبة المكانية بمجموعة رائعة من الفرص للباحثين ورواد الأعمال على حد سواء في العقود المقبلة. سوف يتطلب تسخير هذه الإمكانيات بنجاح استثمارات فكرية كبيرة وما يتعلق به من تمويل للموضوعات البحثية في الحوسبة المكانية، ويتضمن ذلك، لكن ليس على سبيل الحصر، الأمثلة التي استكشفتها هنا. إن العديد من مشاريع الحوسبة المكانية اليوم مقتصر إلى حد بعيد على تحقيق الكتلة الحاسمة اللازمة لخطوات كبيرة إلى الأمام. على المحسنين أن يفكروا بقوة في تمويل جهود أكبر وأكثر ميلًا إلى المغامرة، تشمل عشرة أو أكثر من مجموعة أعضاء هيئة التدريس في جامعات متعددة. من المبادرات النموذجية: المركز الوطني الأمريكي للمعلومات والتحليل الجغرافي، مركز GEOMatics لشبكة القرارات ذات المعرفة في كندا، مركز RGE في هولندا، مركز البحوث التعاونية للمعلومات المكانية في أستراليا. وثمة حاجز آخر في وجه تقدم البحوث يتمثل في حقيقة أن مقترحات المنح غالبًا ما يراجعها لجان تتضمن عددًا قليلًا من خبراء الحوسبة المكانية أو لا يتضمن أحدًا منهم، وهذا ما يؤدي في بعض الأحيان إلى عدم وجود أبطال. ولذلك ينبغي لوكالات التمويل أن تفكر في لجان مراجعة خاصة وطلبات متخصصة لتقديم مقترحات.

وهناك عدد من الوكالات التي لديها مبادرات بحثية في مجال الحوسبة المكانية،^{23,25,26,28,29} ومن ذلك: مبادرة "الشك المكاني: المعطيات، والنمذجة، والاتصالات" لمعهد السرطان الوطني، وبرنامج البحث العلمي للوكالة الوطنية للاستخبارات المكانية الجغرافية، ومشروع Chorochronos⁴⁹ الممول من الاتحاد الأوروبي. وبسبب المدى الشامل للحوسبة المكانية، ينبغي أن يكون هدف المحسنين تأسيس قيادة في علوم الحاسوب في هذا المجال الناشئ، وذلك بإنشاء برنامج بحثي متخصص ودائم للحوسبة المكانية. ومن شأن التنسيق بين الوكالات المتعددة بغية تخفيض عدد المشاريع المتنافسة وتسهيل الأبحاث المشتركة المتعددة التخصصات الهندسية بين الوكالات، أن يعود بالنفع على الحقل بتمامه، وعلى الوكالات ذاتها أيضًا.

أخيرًا، يحتاج علماء الحوسبة المكانية إلى مزيد من الدعم المؤسسي في جامعات موطنهم. إضافة إلى تقديم منح المرة الواحدة الكبيرة، أسس عدد قليل من الجامعات البحثية مراكز لمنظومات GIS (شبيهة بمراكز الحاسوب في الستينيات

من القرن الماضي)، فضلاً على مبادراتٍ مكانيةٍ على نطاق الحرم الجامعي (مثل مركز الدراسات المكانية في جامعة كاليفورنيا، في مدينة سانتا باربرا؛ <http://spatial.ucsb.edu/>، والبنية الأساسية U-Spatial في جامعة مينيسوتا) تخدم المساعي البحثية في مجموعة من التخصصات الهندسية، ومن ذلك: تغير المناخ والصحة العامة. وينبغي لمزيد من جامعات الأبحاث أن تتبّع تلك القيادة.

أثبتت الحوسبة المكانية أنها نفسها فرصة اقتصادية كبيرة للمجتمع، وإنّ تقديم مزيد من الدعم للبحوث الحوسبية المكانية سيضمن وقوع تطوراتٍ ثورية أكثر من ذلك.

شكر وتقدير

نشكر المشاركين في ورشة عمل تصورات الحوسبة المكانية لعام 2012 لاتحاد مجتمع الحوسبة، بدعم من مؤسسة العلوم الوطنية، وخاصة أعضاء اللجنة المنظمة: Michael F. Goodchild، Peggy Agouris (عضو في الأكاديمية الوطنية للعلوم)، Erik Hoel، John Jensen (AACI، ASPRS)، Craig A. Knoblock، Richard Langley (معهد الملاحية)، Edward Mikhail (ASPRS)، Ouri Wolfson، May Yuan (الرئيس السابق لاتحاد UCGIS). نشكر جمعية مجتمع الحوسبة العامة، ومنهم: Erwin Gianchandani، Kenneth Hines، Hank Korth، Eric Horvitz لإرشاداتهم وملاحظاتهم القيمة. نشكر Michael Evans، Dev Oliver، Venkata Gunturi، Reem Ali في جامعة مينيسوتا لمساعدتهم في أنشطة تصورات عام 2020 للحوسبة المكانية. نشكر أيضاً المساهمين في مسار أوراق الرؤية والتحدي في الندوة الدولية الثانية عشرة في قواعد المعطيات المكانية والزمانية.⁴⁰ ونشكر Kim Koffolt لتحسين قابلية قراءة هذه المقالة. دعت أبحاث شاشي شيخار (Shashi Shekhar) مؤسسة العلوم الوطنية بالمنح 1029711، IIS-1320580، 0940818، ووزارة الدفاع الأمريكية بالمنح HM0210-13-1-0005 and HM1582-08-1-0017، وجامعة مينيسوتا في إطار مشروع OVP R U-Spatial. ودعت مؤسسة العلوم الوطنية جزئياً أبحاث كل من Steven K. Feiner بالمنحة IIS-1514429، و Walid G. Aref بالمنحة IIS 1117766.

المراجع

- [1] Ali, R.Y., Gunturi, V.M., Shekhar, S., Eldawy, A., Mokbel, M.F., Kotz, A.J., and Northrop, W.F. Future connected vehicles: Challenges and opportunities for spatiotemporal computing. In *Proceedings of the 23rd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems* (Seattle, WA, Nov. 3–6). ACM Press, New York, 2015.
- [2] Auchincloss, A.H., Gebreab, S.Y., Mair, C., and Roux, A.V.D. A review of spatial methods in epidemiology, 2000–2010. *Annual Review of Public Health* 33 (2012), 107.
- [3] Campbell, J.B. and Wynne, R.H. *Introduction to Remote Sensing, Fifth Edition*. The Guilford Press, New York, 2011.
- [4] Caron, C., Roche, S., Goyer, D., and Jatton, A. GIScience journals ranking and evaluation: An international Delphi study. *Transactions in GIS* 12, 3 (2008), 293–321.
- [5] De Berg, M., Van Kreveld, M., Overmars, M., and Schwarzkopf, O. *Computational Geometry*. Springer, Berlin Heidelberg, Germany, 1997.
- [6] Devillers, R., Jeansoulin, R., and Goodchild, M.F. *Fundamentals of Spatial Data Quality (Geographical Information Systems Series)*. Wiley-ISTE, New York, 2006.
- [7] Dobson, J. and Fisher, P. Geoslavery. *Technology and Society Magazine* 22, 1 (Spring 2003), 47–52.

- [8] Downs, R.M., Stea, D., and Boulding, K.E. *Image and Environment: Cognitive Mapping and Spatial Behavior*. Aldine Transaction, a division of Transaction Publishers, New Brunswick, NJ, and London, U.K., 2005.
- [9] Esri. *Understanding Geodesic Buffering*; <http://www.esri.com/news/arcuser/0111/geodesic.html>
- [10] Ester, M., Kriegel, H.-P. and Sander, J. Spatial data mining: A database approach. In *Advances in Spatial Databases, Volume 1262 of Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, 1997, 47–66.
- [11] Faulkner, M., Olson, M., Chandy, R., Krause, J., Chandy, K., and Krause, A. The next big one: Detecting earthquakes and other rare events from community-based sensors. In *Proceedings of the 10th International Conference on Information Processing in Sensor Networks* (Chicago, IL, Apr. 12–14). IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2011, 13–24.
- [12] Gelfand, A.E., Diggle, P., Guttorp, P., and Fuentes, M. *Handbook of Spatial Statistics. Chapman and Hall/CRC Handbooks of Modern Statistical Methods*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2010.
- [13] Goodchild, M.F. Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal* 69, 4 (Aug. 2007), 211–221.
- [14] Gore, A. The digital Earth: Understanding our planet in the 21st century. *Australian Surveyor* 43, 2 (1998), 89–91.
- [15] Jordan, L.J. Flood map delays spur angst for Gulf Coast, but it may be for nothing. *Djournal.com* (Mar. 26, 2006); <http://goo.gl/Iizvzv>
- [16] Kemp, K.K. *Encyclopedia of Geographic Information Science*. SAGE Publications, Thousand Oaks, CA, 2007.
- [17] Krause, A., Horvitz, E., Kansal, A., and Zhao, F. Toward community sensing. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Information Processing in Sensor Networks* (St. Louis, MO, Apr. 22–24). IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2008, 481–492.
- [18] Krumm, J. A survey of computational location privacy. *Personal and Ubiquitous Computing* 13, 6 (Aug. 2009), 391–399.
- [19] Kumar, V., Shekhar, S. and Fagmou, J., Eds. Computing & climate. *Computing in Science and Engineering* 17, 6 (Nov./Dec. 2015).
- [20] Lovell, J. Left-hand-turn elimination. *The New York Times* (Dec. 9, 2007).
- [21] Manyika, J., Institute, M.G., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C, and Byers, A.H. *Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity*. McKinsey Global Institute, 2011; <http://goo.gl/BWJPqP>
- [22] McMaster, R.B. and Usery, E.L. *A Research Agenda for Geographic Information Science*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2004.
- [23] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *IT Roadmap to a Geospatial Future. Report of the Committee on Intersections Between Geospatial Information and Information Technology*. The National Academies Press, Washington, D.C., 2003.
- [24] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Global Navigation Satellite Systems: Report of a Joint Workshop of the National Academy of Engineering and the Chinese Academy of Engineering*. The National Academies Press, Washington, D.C., 2012.
- [25] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Priorities for GEOINT Research at the National Geospatial-Intelligence Agency*. The National Academies Press, Washington, D.C., 2006.
- [26] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Successful Response Starts with a Map: Improving Geospatial Support for Disaster Management*. The National Academies Press, Washington, D.C., 2007.
- [27] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Figure 3.1: The precision of current geodetic applications as a function of the required time interval. In *Precise Geodetic Infrastructure: National Requirements for a Shared Resource*. The National Academies Press, Washington, D.C., 2010.
- [28] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *New Research Directions for the National Geospatial-Intelligence Agency*. The National Academies Press, Washington, D.C., 2010.

- [29] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Understanding the Changing Planet: Strategic Directions for the Geographical Sciences*. The National Academies Press, Washington, D.C., 2010.
- [30] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Frontiers in Massive Data Analysis*. The National Academies Press, Washington, D.C., 2013.
- [31] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Continuity of NASA Earth Observation from Space: A Value Framework* (prepublication draft). The National Academies Press, Washington, D.C., 2015; <http://www.nap.edu/read/21789/chapter/1>
- [32] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Land change modeling approaches. In *Advancing Land Change Modeling: Opportunities and Research Requirements*. The National Academies Press, Washington, D.C., 2014.
- [33] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine: Committee on Human and Environmental Exposure Science in the 21st Century. *Exposure Science in the 21st Century: A Vision and a Strategy*. The National Academies Press, Washington, D.C., 2012.
- [34] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine: Panel on Confidentiality Issues Arising from the Integration of Remotely Sensed and Self-Identifying Data. *Putting People on the Map: Protecting Confidentiality with Linked Social-Spatial Data*. The National Academies Press, Washington, D.C., 2007.
- [35] National Science Foundation. *Report of the NSF Workshop on Intelligent Systems Research to Support Geosciences and the EarthCube Mission*. Arlington, VA, Mar. 2015; <http://goo.gl/MyBsQY> (workshop report summary <http://is-geo.org/report/>)
- [36] National Science Foundation. *An NSF Workshop to Identify Interdisciplinary Data Science Approaches and Challenges to Enhance Understanding of Interactions of Food Systems with Energy and Water Systems*. The National Institute of Food and Agriculture, Washington, D.C., Oct. 2015; <http://goo.gl/GCQ2fj>
- [37] Okolloh, O. Ushahidi, or 'testimony': Web 2.0 tools for crowdsourcing crisis information. *Participatory Learning and Action* 59, 1 (May 2009), 65–70.
- [38] Open GIS Consortium. *Open GIS Simple Features for SQL*; <http://www.opengis.org>
- [39] Parkinson, B.W. and Spilker, J.J. *Global Positioning System: Theory and Applications, Volume One*. The American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, VA, 1996.
- [40] Pfoser, D., Tao, Y., Mouratidis, K., Nascimento, M.A., Mobel, M., Shekhar, S., and Huang, Y., Eds. Challenge and Vision Track. In *the 12th International Symposium on Spatial and Temporal Databases, Volume 6849 of Lecture Notes on Computer Science* (Minneapolis, MN, Aug. 24–26). Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, 2011; <http://sstd2011.cs.umn.edu/>
- [41] Pomfret, K. *Latitudes and Attitudes: Zooming In on Geospatial Data, Privacy, and the Law in the Digital Age*. Centre for Spatial Law and Policy, Richmond, VA, Mar. 27, 2013; http://www.spatiallaw.com/Uploads/Latitudes_and_Attitudes.pdf
- [42] Pomfret, K.D. *Geotargeted Alerts: Potential Impact of Privacy Concerns*. The National Academy of Sciences, Washington D.C., Feb. 21, 2013.
- [43] Regalado, A. New Google Earth Engine. *ScienceInsider* (Dec. 3, 2010); <http://news.sciencemag.org/technology/2010/12/new-google-earth-engine>
- [44] Richmond, R. Digital help for Haiti. *The New York Times* (Jan. 27 2010).
- [45] Ripley, B.D. *Spatial Statistics, Volume 575*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2005.
- [46] Samet, H. *The Design and Analysis of Spatial Data Structures*. Addison-Wesley Series in Computer Science, Reading, MA, 1989.
- [47] Samet, H. *Foundations of Multidimensional and Metric Data Structures*. The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics, San Francisco, CA, 2006.
- [48] Schiller, J. and Voisard, A. *Location-Based Services*. Elsevier, San Francisco, CA, 2004.
- [49] Sellis, T. et al., Eds. *Spatio-Temporal Databases: The CHOROCHRONOS Approach. Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2003.
- [50] Shekhar, S. and Chawla, S. *Spatial Databases: A Tour*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2003.

- [51] Shekhar, S., Evans, M.R., Kang, J.M., and Mohan, P. Identifying patterns in spatial information: A survey of methods. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* 1, 3 (May/June 2011), 193–214.
- [52] Shekhar, S., Feiner, S., and Aref, W. From GPS and virtual globes to spatial computing—2020. *GeoInformatica* 19, 4 (Oct. 2015), 799–832.
- [53] Shekhar, S. and Xiong, H. *Encyclopedia of GIS*. Springer, New York, 2008.
- [54] Snow, J. *On the Mode of Communication of Cholera*. John Churchill, London, England, 1855.
- [55] Sobel, D. *Longitude*. Walker Books, London, U.K., 2010.
- [56] U.S. EPA Office of Air and Radiation. *The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality. Technical Report EPA 402-K-93-007*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.; <http://goo.gl/RkZUBU>
- [57] Uttal, D.H. and Cohen, C.A. Spatial thinking and STEM education: When, why, and how. *Psychology of Learning and Motivation* 57, 2 (2012), 147–181.

المؤلفون

شاشي شيخار **Shashi Shekhar** (shekhar@cs.umn.edu) هو أستاذ حائز على لقب McKnight Distinguished University Professor يعمل في قسم علوم الحاسوب في جامعة مينيسوتا وعضو سابق في الجماعة مجلس اتحاد مجتمع الحوسبة.

ستيفن ك فينر **Steven K. Feiner** (feiner@cs.columbia.edu) هو أستاذ علوم الحاسوب ومدير مخبر بيانات الحاسوب وواجهات المستعمل في جامعة كولومبيا، نيويورك.

وليد غ. عارف **Walid G. Aref** (aref@cs.purdue.edu) هو أستاذ علوم الحاسوب في جامعة Purdue، مدينة وست لافاييت، ولاية إنديانا، والرئيس السابق لمؤتمر ACM SIGSPATIAL (<http://www.sigspatial.org>).

إعادة تصوّر البحث

REIMAGINING SEARCH*

Alex Wright

ترجمة: د. أميمة الدكاك

مراجعة: د. أديب بطح

يتوجه مطورو محركات البحث إلى ما وراء مشكلة تحليل الوثائق، باتجاه الهدف الصعب المنال وهو معرفة ما يريده الأشخاص حقيقةً.

منذ أن ابتكر جيرارد سالتون (Gerard Salton) من جامعة كورنيل (Cornell) محرك البحث الحوسبي الأول (مستكشف النصوص الآلي السحري سالتون SMART) في عام 1960، أنفق مطورو البحث عقوداً محاولين، على نحو أساسي، صقل فكرة سالتون وهي: أخذ سلسلة محارف طلب (استفسار) ما، ومقابلته بمجموعة وثائق، ثم حساب مجموعة من النتائج البارزة وعرضها في لائحة. وتستمر كل محركات البحث على الإنترنت الحالية باتباع مخطط سالتون الأساسي –ومن ضمنها غوغل (Google) وأمازون (Amazon) وبنغ (Bing).

ومع تطور الوب، من تجمّع ذي نسيج غير متماسك (حر) من الأوراق الأكاديمية إلى عالم رقمي موسّع من التطبيقات والنشرات والفيديوهات وصور القطط (بالتوسعة GIF)؛ تغيرت توقعات المستثمرين لنتائج البحث على الوب. وحالياً، فإن اهتمام الكثيرين من بيننا بغريلة مجموعة من الوثائق أقل بكثير من الحصول على الأشياء منجزة: حجز طيران أو إيجاد فرصة عمل أو شراء بيت أو القيام باستثمار معين أو أي عدد من المهام الأخرى التي تتطلب انتباهاً شديداً. في أثناء ذلك، يستمر الوب بالتوسع بسرعة مذهلة. لقد فهرست غوغل، في العام الماضي، نحو 60 ترليون صفحة – وكانت قد فهرست ترليون وحيد من الصفحات في عام 2008. يقول Ben Gomes وهو أحد أعضاء غوغل ونائب رئيس فريق البحث الأساسي (Core Search)، وهو قد عمل في البحث لدى غوغل أكثر من 15 سنة: "حين يصبح الوب أوسع يصبح الوصول إلى الصفحة التي تريدها أصعب".

قد يكون الشبه قليلاً بين الوب الحالي وتجسيده السابق كأداة لتشارك الوثائق بين الأكاديميين، ومع ذلك، فإن المصاغة الأساسية لنتائج البحث بقيت ثابتة على نحو ملحوظ على مدى السنين. ولكن بدأ هذا يتغير لأن مطوري البحث غيروا تركيزهم من تحليل الوثائق إلى تحدّ شائك يتمثل في محاولة فهم تلوّن الطلبات والاحتياجات البشرية التي تكمن وراء بلايين عمليات البحث اليومية على الوب.

*نشر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 6، حزيران (يونيه) 2016، الصفحات 17 – 19.

ففي حين ركزت خوارزميات البحث، الممركزة على الوثائق، على حل مسائل التحليل الدلالي: تحديد المرادفات وتعقّب الأخطاء اللفظية وضبط التقلبات اللغوية الأخرى، فإن الكثير من المطورين يحاولون نقل تركيزهم إلى الجانب الآخر من العملية: أي على السؤال نفسه.

من خلال التنقيب في كنوز مفردات الطلبات الواسعة التي تتدفق خلال محركات البحث، يستكشف المطورون طرقاً جديدة لنمذجة السياق ضمن حدود محارف الطلبات، على أمل تحسين دقة نتائج البحث وملاءمتها. يقول Daniel Tunkelang وهو مهندس برمجيات وكان يقود سابقاً فريق البحث لدى LinkedIn: "قبل أن تنظر في الوثائق، حاول أن تحدد القصد والهدف".

وفي LinkedIn، ابتكر Tunkelang نموذجاً معقداً لفهم الطلبات انطوى على تقسيم الطلبات القادمة إلى مجموعات بوضع لصيقات على الكيانات البارزة في كل طلب، وتصنيف متتاليات معينة من اللصيقات لتحديد قصد المستثمر المحتمل، واستعمال مطابقة المترادفات لتضييق مجال مقاصد المستثمرين المحتملة أكثر. لدى LinkedIn، يعيد البحث عن "Obama" رابطةً إلى صفحة الرئيس الشخصية، في حين يعيد البحث عن كلمة رئيس "president" قائمة باختصارات ملاحية إلى أعمال منوعة وأشخاص وجماعات تتضمن هذه المفردة. وحين يختار المستثمر أحد هذه الاختصارات، يلتقط LinkedIn إشارة مفيدة حول قصد المستثمر، يمكن أن يستثمرها لاحقاً لإعادة مجموعة نتائج مستهدفة على نحو أعلى.

وبالمشابهة (بمزاج مشابه)، فإن البحث عن المفردة "Hemingway" على أمازون يعيد قائمة عادية من عناوين الكتب، ولكن البحث عن مفردة أوسع مثل: في الهواء الطلق "outdoors" يعطي صفحة ملاحية أوسع بروابط إلى تصنيفات أكثر تنوعاً من منتجات أمازون. يحاول أمازون تكييف نتائجه اعتماداً على تخمين أفضل لقصد المستثمر، وذلك بتصنيف الطلب، والتمييز بين البحث عن "مفردة معروفة" والبحث عن كلمة مفتاحية أكثر استكشافية. إن الانتشار الواسع النطاق للمعطيات المهيكلية، إلى جانب التقدم في معالجة اللغات الطبيعية وبروز التجهيزات النقالة (المحمولة) المزودة بتقنيات تعرف الصوت، قد أعطى المطورين مجموعة قوية من الإشارات لنمذجة القصد، وهذا يمكنهم من تسليم مصاعف لنتائج البحث مخصصة جداً حول حالات استثمار خاصة، ومن دعوة المستثمرين إلى محادثات حوارية يمكن أن تساعدهم على ضبط نتائج البحث أكثر، مع مرور الزمن.

يمكن أن يرى مستثمرو الوب بنظرة خاطفة الأماكن التي يتقدم فيها بحث المستهلك على شكل "نثرات (snippets)" غوغل الموجودة في كل مكان وعلى نحو متزايد، وهي تلك المقطعات المرئية بوضوح والتي تظهر غالباً في أعلى صفحات النتائج لطلبات حول مواضيع مثل نتائج المباريات الرياضية، أو أسعار الأسهم، أو كلمات الأغاني. وعلى نقيض تجسيدات سابقة لنتائج البحث في غوغل، فإن هذه النثرات تحاول أن تقوم بما هو أبعد من مجرد عرض قائمة روابط؛ إنها تحاول الإجابة عن سؤال المستثمر.

تستفيد هذه الأنواع من البحث ذات المجالات المخصصة من نوع من المعلومات القبلية عن مقاصد المستثمر. على سبيل المثال، تستطيع Netflix¹ استقراء معظم الطلبات التي تتعلق بالسينما أو التلفاز. ومع ذلك، فإن على محركات

¹ خدمة مأجورة توفر إغارة أقراص DVD أو فيديوهات بحسب الطلب من خلال الإرسال على الإنترنت. (المترجم)

البحث ذات الأغراض العامة مثل غوغل أن تعمل بجد أكثر لتقيس القصد من بضعة محارف نصية يُشار إليها في صفحة وب كاملة.

بدأ المطورون الآن باتخاذ خطوات لنمذجة السياق في البحث العام على الوب، بفضل عدد من الاتجاهات التقنية المتقاربة: التقدم في معالجة اللغة الطبيعية؛ وانتشار التجهيزات النقالة المزودة بتعرف الأصوات وتحسس الموضع، ونشوء المعطيات المهيكلة التي تسمح لمحرك البحث باستخراج عناصر معطيات مخصصة كان يمكن فيما مضى أن تبقى محجوزةً ضمن صفحات الوب الساكنة.

تحاول محركات البحث الخاصة بالمستهلك أيضاً أن تستنتج مقصد المستثمر بتطبيق تقنيات معالجة اللغات الطبيعية على مفردات البحث الضمنية. على سبيل المثال، حين يدخل المستثمر عبارة "غير المصباح" فإن كلمة "غير" تعني "بدل"؛ أما حين يدخل "غير المراقب" فإن كلمة "غير" تعني "اضبط".

بتحليل التفاعل بين نحو السؤال (الطلب) ومرادفاته، يبحث غوغل عن النماذج اللغوية التي تساعد على تنقيح نتائج البحث. ويقول Gomes: "تحاول أن تطابق بين لغة السؤال ولغة الوثيقة، وتأتي مدونة الأسئلة ومدونة الوثائق معاً لإعطائنا فهماً أعمق لقصد المستثمر".

وأبعد من تحديات نمذجة السؤال المقودة بالمعطيات، يجد بعض مطوري محركات البحث إلهاماً بالنظر إلى ما هو أبعد من تسجيلات البحث ويحولون نظرهم إلى الخارج ليعمّقوا فهمهم للحياة الحقيقية للمستثمرين "في البرية".

يقول Tunkelang الذي يرى إمكانات هائلة لتطبيق تقنيات البحث الخاصة "بخبرة المستخدم" لتقدير مدى ثقة المستخدمين بمجموعة خاصة من نتائج البحث، أو لاستكشاف سبب اختيار المستخدم عدم نقر رابطٍ مخصص في قائمة النتائج: "إن البحث النوعي أمرٌ عظيم لتوليد رؤية عميقة وفرضيات". يمكن للبحث النوعي أيضاً أن يسلط الضوء على الحاجات العاطفية الأكثر عمقاً التي يصعب تأكيدها من تحليل المعطيات فقط.

في شركة غوغل، ينفذ فريق البحث مشروعاً جاريّاً متطوراً يدعى دراسة حاجات المعلومات اليومية (Daily Information Needs)، يستقبل فيه 1000 متطوع، في منطقة معينة، تنبيهات على هواتفهم الذكية، قد تصل إلى ثمانية تنبيهات في اليوم، لإعطاء تقرير عن أنواع المعلومات التي يبحثون عنها في ذلك اليوم - ليس فقط على موقع غوغل وإنما في أي مكان. لقد ساعدت النظرات العميقة من هذه الدراسة شركة غوغل على زرع بذور لأفكار حول منتجات جديدة مثل Google Now.

قام الباحثون لدى مايكروسوفت أخيراً بدراسة عرقية أشارت إلى خمسة أنماط متباينة من سلوكيات بحث الوب:

- **المهلة:** أخذ استراحة من الروتين اليومي وزيارة بعض مواقع الوب المألوفة.
- **التوجّه:** مراقبة متكررة لمواقع تُستعمل بكثرة، مثل مزودات خدمة البريد الإلكتروني والخدمات المالية.
- **استعمال الفرص:** زياراتٌ وقت الفراغ إلى مواقع مألوفة بدرجة أقل، لمواضيع مثل: وصفات، أعمال غريبة وهوايات.
- **استعمال لهدف:** مشاهد استعمال غير روتينية، تتعلق غالباً بمسائل محدودة الزمن مثل بيع قطعة أثاث أو إيجاد مربية أطفال.
- **استلقاء:** استهلاك تسلية غير فعالة مثل الموسيقى أو الفيديو.

يقول الكاتب، إن كلاً من هذه الأنماط تستدعي نمطا مميزاً من التفاعل مع الشاشة "لدم بناء رحلات ذات مغزى، تقدم مشهداً متكاملًا".

ولأن الشركات تتخلى عن عرض نتائج البحث على شكل قوائم من نمط (حجم واحد يناسب الجميع)، فإنها أصبحت أيضاً تحمي، على نحو أكثر، رؤيتها التي تصبغ عرضها لنتائج البحث.

يقول أندرو فرانك (Andrew Frank)، نائب رئيس البحث لدى Gartner: "ما يثير السخرية هو أن المسوّقين يتطورون ولكن حجم المعطيات الذي تشاركه غوغل مع مسوّقيها ينخفض. في الماضي حين كان شخصٌ ما ينقر رابطاً أساسياً، كنت ترى مفردات البحث التي استعملها، ولكن خلال العامين الماضيين بدأت غوغل تحذف هذه المعطيات". أشار فرانك أيضاً إلى فيسبوك على أنها مثال على الشركات التي تحول معطيات السؤال إلى أصول تسويقية، بتمكين المسوّقين من استئصال أفعال معينة من دون استهداف شعوب معينة أو سلوكيات خاصة.

ومع استمرار محاولات مزودي محركات البحث تمييز أنفسهم اعتماداً على فهم عمق لمقصد السؤال، فإنهم ربما يركزون أيضاً على النقاط معلومات أكثر فأكثر عن السياق الذي يحيط ببحث معين، مثل الموضوع، واللغة وقائمة (تاريخ) استفسارات البحث الحديثة. يمكن لهذه السمات حين تؤخذ مجتمعة، أن تزود تغذية كافية لخوارزميات البحث المتزايدة التنبؤ.

ويشعر تونكيلانغ (Tunkelang) أن المسألة التقنية في البحث، غير المحلولة والأكثر أهمية، تتطلب ما يسمى التنبؤ بأداء الاستفسار، ويقول: "ترتكب محركات البحث أخطاء مغفلة وتبدو سعيدة وغير واعية بأنها تقوم بذلك". ويتابع: "بالمقابل، نحن البشر قد لا نكون دائماً أذكاء، ولكننا أفضل في معايرة ثقنتنا حين يتعلق الأمر بالاتصالات. تحتاج محركات البحث لأن تتحسن في موضوع التنبؤ بأداء الاستفسار - وفي التزويد بخبرة المستخدم الذي تتكيف معه".

وبالنظر إلى أبعد من ذلك، يتصور Gomes غومز يوماً، تصبح فيه محركات البحث متطورة جداً في نمذجة مقصد المستخدم، بحيث أنها ستتعلم أن تتوقع احتياجات المستخدم قبل زمن كاف. على سبيل المثال، إذا كشف النظام أنك بحثت سابقاً في نتائج فريق Boston Red Sox²، فإن هاتفك الذكي سيستقبلك صباحاً بسجّل النقاط (النتائج) لليلة السابقة. يعتقد Gomes أن هذا النوع من التساؤل قد يحمل محركات البحث يوماً إلى قمة الاستبصار التقني. "كيف يمكننا إعطاءك المعلومات قبل حتى أن تطرح السؤال؟".

قراءات للاستزادة

- Bailey P., White R.W., Liu H, and Kumara G. "Mining Historic Query Trails to Label Long and Rare Search Engine Queries", ACM, Transaction on the Web Volume 4, Issue 4, Article 15 (September 2010). <http://dx.doi.org/10.1145/1841909.1841912>.
- Lindley S., Meek, S., Sellen A. and Harper R., "It's Simply Integral to What I do," Enquiries into how the Web is Weaved into Everyday Life, WWW 2012, <http://research.microsoft.com/en-us/people/asellen/wwwmodes.pdf>.
- Salton G. "The SMART Retrieval System". Experiments in Automatic Document Processing, Prentice Hall, inc, upper Saddle River, NJ, 2012.
- Vakkari P. "Exploratory Searching as Conceptual Exploration, Microsoft Research, <http://bit.ly/1N3rI3x>

² فريق أمريكي مشهور للبيسبول. (المترجم)

كيف يمكن لشيرير (أو لهاكر في قبو منزله) تدمير الإنترنت

HOW A SUPERVILLAIN (OR A HACKER IN HIS BASEMENT) COULD DESTROY THE INTERNET*

Logan Kugler

ترجمة: م. سماح راغب

مراجعة: د. رضوان قسطنطين

يشارك خبراء الشبكة أعظم مخاوفهم من الهجمات والحوادث التي يمكنها أن تدمر شبكة الإنترنت.

ختم عضو مجلس الشيوخ الأميركي Ted Stevens (R-AK) إرثه في عام 2006 عندما وصف على نحوٍ مسيء شبكة الإنترنت بأنها "سلسلة من الأنابيب". كان هذا وصفاً مبسطاً إلى أقصى درجة للبنيان المتنوع والمعقد الذي يكون البنية الأساسية المادية والافتراضية للإنترنت. ومع أنه يمكن التماس العذر له باعتبارها زلة من الجيل الأقدم، إلا أن Stevens كان مسؤولاً جزئياً عن تنظيم شبكة الإنترنت في الوقت الذي أدلى فيه بهذه التصريحات. لسوء الحظ، لم يكن Stevens الذي وافته المنية في عام 2010 وحيداً في فهمه الخاطئ لكيفية عمل الإنترنت، والجهل في هذا المجال - وهو أبعد ما يكون عن النعيم - يُعدّ خطراً. إن سلسلة الأنابيب والأجهزة الأخرى التي تجعل الإنترنت متاحة يمكن أن تتعطل، وقد حدث هذا فعلاً. حتى إنها يمكن أن تُدمر، كما يقول الخبراء. أحد هؤلاء الخبراء هو Samy Kamkar، وهو على دراية بكل ما يخص أمن الإنترنت. بعد أن اخترق الشبكة الاجتماعية MySpace في عام 2005 باستعمال "دودة Samy" وألقي القبض عليه وحُكم عليه بجناية، وافق على اتفاق مع جهاز المخابرات الأمريكية مُنع بموجبه من مجرد لمس الحاسوب ثلاث سنوات. انتشر الفيروس الذي أنشأه Kamkar بسرعة مُقلقة جداً حتى إن "شبكة الإنترنت بنمائها خرجت عن السيطرة بسببه" حسبما ذكر موقع Fusion الإعلامي. لا يفكر الناس أمثال Kamkar بتراخٍ في طرق تعطيل الإنترنت أو تدميرها كلياً، فهم يتقاضون أجراً مقابل ذلك. وقد أصبح Kamkar اليوم من قرصنة القبعة البيضاء، فهو يساعد الشركات في سد الثغرات الأمنية قبل أن يُساء استغلالها. فيما يلي بعض التهديدات الكبرى التي يراها Kamkar وأشخاص مثل Thomas Savundra أحد مؤسسي خدمة التخزين السحابي الفائقة الأمان Sync لبنية الإنترنت الأساسية، وما الذي بوسعنا فعله للمساعدة في منعها.

* نُشر هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 59، العدد 2، شباط (فبراير) 2016، الصفحات 18 - 20.



Samy Kamkar الذي قرصن شبكة MySpace الاجتماعية باستعمال دودة Samy عام 2005 أصبح اليوم من قرصنة القبعة البيضاء، فهو يساعد الشركات في سد الثغرات الأمنية قبل أن يُساء استغلالها.

قطع الكبال

يُهيمن انهيار البرمجيات وتهديدات الأمن السيبري على عناوين الصحف، ولكن Kamkar يقول إن هناك طريقة أخرى للهجوم على الإنترنت يمكنها أن تُسبب ضرراً أكبر على نطاق أوسع.

يقول Kamkar: "ثمة اعتداء مادي بدأ يؤثر في مناطق صغيرة (ولكن في أعداد كبيرة من المستخدمين) يتمثل في قطع المجرمين لكبال الألياف الضوئية". "إن مجرد معرفة المكان المستهدف وماذا يجب أن تفعل كافٍ للتسبب في اضطرابات كبيرة".

قد يبدو هذا مثل سيناريو مُمل أو مشهدٍ مزعج ليوم القيامة، ولكنه أحد السيناريوهات التي بدأت السلطات بأخذها على محمل الجد. ذكرت صحيفة واشنطن بوست في تموز 2015 أن مكتب التحقيقات الفيدرالي الأمريكي (FBI) كان يحقق في سلسلة من الهجمات على كبال الألياف الضوئية في كاليفورنيا التي عطّلت خدمة الإنترنت في أجزاء من سان فرانسيسكو وسكرامنتو. ربما لم تكن هذه الهجمات من صنع المخربين الصغار أو العناصر الإجرامية المعروفة؛ إذ يعتقد مكتب التحقيقات الفيدرالي أن الهجمات تطلّبت خبرة، نظراً لأن الجاني أو الجناة اقتحموا المخابئ التي تضم تلك الكبال تحت الأرض. كان هذا الهجوم الحادي عشر من هذا القبيل في غضون 12 شهراً، وقد حدث هجوم مماثل في ولاية أريزونا في بداية العام الماضي.

سبب الهجوم على كبال الألياف الضوئية في كل حالة من تلك الحالات تعطلت محلياً في شبكة الإنترنت. فتخيل ما الذي يمكن أن يحدث إذا جرى العبث بالكبال التي تُخدّم مساحة أكبر .

حدث ذلك عدة مرات لكبال الألياف الضوئية في البحر الأبيض المتوسط على مدار العقد الماضي، عندما كانت كبال توصيل خدمة الإنترنت إلى جميع دول الشرق الأوسط وآسيا ضحية لمجموعة متنوعة من الهجمات. ومن المعروف أن بعضها كان عرضياً، كما حدث عندما قطعت مرساة إحدى السفن الكبال البحرية، في حين يُحتمل أن يكون بعضها الآخر جنائياً. كان لجميع هذه الهجمات آثار في جميع أنحاء العالم. وفقاً لتقرير صادر عن Wired، أوقف هجوم مشابه في عام 2008 خدمة الإنترنت في مصر، وباكستان، والكويت، والهند، أي في أربع دول يقارب عدد سكانها مجتمعة 1.5 مليار شخص أو خمس سكان كوكبنا .

قد يتطلب تدمير البنية الأساسية تحت سطح البحر مجموعة محددة من المهارات، ولكنه لا يتطلب جيشاً. كان أحد حوادث قطع الكبال في البحر المتوسط من عمل ثلاثة رجال فقط. إن السهولة النسبية التي يمكن فيها للجهات الخبيثة تعطيل خدمة الإنترنت على نطاق عالمي لا تقف عند هذا الحد. ومع أن الكبال تحت سطح البحر أكثر سماكة ومتانة بعض الشيء من نظيراتها الأرضية، فإن من المذهل أن إمكان الوصول إليها ما زال سهلاً.

قال Andrew Blum مؤلف كتاب "Tubes: A Journey to the Center of the Internet" لمجلة Wired: "فيما عدا إخفاء الكبال تحت بضعة أقدام من الرمل، وقيام الموظفين في محطة إنزال الكبال بدوريات على طريق الشاطئ مرة أو مرتين في اليوم، لم أسمع أو أشاهد أبداً أي حماية دائمة".

يمكن أن تؤدي الهجمات على الكبال الضعيفة الحماية في الوقت نفسه إلى توقف الإنترنت كلياً.

عندما تخفت أضواء المدينة

يقول Kamkar: "هناك مجال آخر يمكن للجهات الخبيثة أن تهاجمه لتقويض الإنترنت هو الشبكة الكهربائية. يمكن أن يحدث هذا بمهاجمة النظم الصناعية التي تتحكم في الشبكة الكهربائية، مثل نظم SCADA".

تدير نظم التحكم الصناعية SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) الوظائف الرئيسية في كل شيء ابتداءً بالمصانع، ووصولاً إلى المصافي ومحطات توليد الطاقة. يمكن لمن يريد إيقاف شبكة الإنترنت أن يخترق هذه النظم ويدمرها، ويعيث فساداً في الآلات التي تحافظ على عمل محطات توليد الكهرباء، تاركاً مناطق التخدم من دون كهرباء وإنترنت.

ومن الواضح أن تعطل شبكة الكهرباء يسبب مشاكل كبيرة أبعد من توقف الإنترنت. يمكن لمولد كهربائي أو مصدر بديل للطاقة أن يُعيد الإنترنت إلى المنازل والمحلات التجارية مرة أخرى بعد بعض الاضطرابات الأولية في حال توقف الشبكة. لا شك أن التوقف مكلف، ولكن في حال التعطل الكامل للإنترنت، فإن نشاط سوق الأسهم على سبيل المثال سيتوقف إلى حد بعيد، وسينتهي الأمر بخدمات الصيرفة والتجارة الإلكترونية والمعاملات عن طريق الإنترنت إلى التوقف، وسيكون العمل في معظم الشركات الحديثة مستحيلًا.

على نطاق أوسع، فإن استهداف المنشآت التي تخدم البنية الأساسية للرئيسة للإنترنت يمكن أن يُدمر مساحات واسعة من هذه الشبكة. يقول Thomas Savundra أحد مؤسسي خدمة التخزين السحابي الفائقة الأمان Sync: "علينا أن نأخذ في الاعتبار القنوات والألياف الأساسية، والمجمعات الأساسية لتبادل الشبكة، ومراكز البيانات التي تستضيف محتوى

الإنترنت". إن اضطراب التيار الكهربائي المزود لأي من هذه المنشآت يمكن أن يعطل قطعة رئيسة من الآلة التي تحافظ على تشغيل الإنترنت.

لا يقتصر الاضطراب على الحالات التي يتوقف فيها مصدر الكهرباء المغذي لمنشأة، بل إن آلتها تُعتبر هدفاً أيضاً.

تعزف العالم في عام 2010 الفيروس Stuxnet، وهو فيروس حاسوبي يُطلق عليه في بعض الأحيان اسم السلاح الرقمي الأول. يُعتقد أن هذه الدودة أُنتجت من قبل أجهزة الاستخبارات الأمريكية والإسرائيلية، نظراً لأنها استهدفت أجهزة الطرد المركزي الإيرانية التي تُستعمل في تخصيب اليورانيوم. شقّت دودة Stuxnet طريقها إلى أجهزة الطرد المركزي بعد أن أُدخلت خلسةً إلى الجهاز بواسطة مسوّق USB تالف. ما إن ظهرت Stuxnet، حتى ألحقت الضرر بأجهزة الطرد المركزي من الداخل. كانت هذه الأجهزة الخاضعة للحراسة الشديدة معزولةً (مادياً) عن الإنترنت، الأمر الذي استوجب إدخال الفيروس بواسطة USB. مع ذلك، قد يكون ذلك شيئاً نادراً.

يقول Kamkar: "من المرجح حدوث هجوم عن طريق الإنترنت في المستقبل، نظراً لأن المزيد من النظم الصناعية تتصل بشبكة الإنترنت".

ووفقاً لتقرير صادر عن المنتدى الاقتصادي العالمي، فقد زاد عدد المحسّات (sensors) المستعملة التي تدعم خدمة الإنترنت أكثر من خمس مرات بين عامي 2012 و 2014، مرتفعاً من 4.2 مليار إلى 23.6 مليار. لا يقتصر هذا الأمر على المنازل الذكية والأدوات الأنيقة فقط، بل إن الحكومات والشركات الضخمة تصل أيضاً البنية الأساسية الرئيسة والمصانع بالإنترنت. هاجمت دودة Stuxnet مُشغلات الآلة التي تكون عُرضة للتهديد في أي مصنع تتصل فيه الآلات مباشرةً بشبكة الإنترنت. عندما تكون الآلات غير المتصلة بالإنترنت معززة بمحسّات تتصل بالإنترنت، قد تسمح هذه المحسّات بإلحاق الضرر بصورة غير مباشرة عندما تُسبب الفيروسات مشاكل فيها (مثل استبدال بيانات وهمية ببيانات حقيقية).

وهذا يعني أن المخرب المستقبلي لن يحتاج أن يكون حاضراً بديناً لإحداث أضرار جسيمة. يمكنه أو يمكنها أو يمكنهم إدخال دودة Stuxnet في منشأة أو أكثر بالاستفادة من اتصال الآلة بشبكة الإنترنت وهم يعملون من أي مكان في العالم. يمكن لهذا الجيل القادم من الإرهابيين السيبريين إيقاف أجزاء من شبكة الإنترنت عن طريق مهاجمة مصادر الطاقة للبنية الأساسية الرئيسة للإنترنت.

لمّا كانت إنترنت الأشياء¹ (Internet of Things) قادرة على أن تقدم فوائد اقتصادية وإنتاجية لا توصف، تحتاج الشركات والحكومات إلى منع مثل هذه الهجمات قبل وقوعها عن طريق نقل البنية الأساسية الصناعية إلى الإنترنت بذكاء – بصرف النظر عن سرعة نشر التقانة أو مقدار الضغط الذي تواجهه من المواطنين وأصحاب المصلحة.

يقول Kamkar: "لا ينبغي وصل البنى الأساسية الحيوية بشبكة الإنترنت دون اتخاذ تدابير أمنية مناسبة".

¹ التواصل عن طريق الإنترنت لتجهيزات الحوسبة المضمنة في الأغراض اليومية بحيث يمكنها إرسال المعطيات واستقبالها. (المترجم)

حماية الإنترنت من نفسها

يقول Savundra ثمة جزء آخر ملموس بدرجة أقل- ولكن لا يقل أهمية- من البنية الأساسية التي يمكن- في حال تضررها الشديد - أن تُدمر الإنترنت كما نعرفها: "إذ من غير المرجح أن تتمركز التهديدات حول البنية الأساسية المادية، وإنما حول أمانة طبقة البرمجيات والثقة بها". وأضاف "أعتقد أن الخصوصية والأمن سيشكلان القضيتين الرئيسيتين. بدأ الأفراد والشركات بالفعل في تغيير سلوكهم بسبب اتساع نطاق الاختراقات والمراقبة غير المصرح بها، وتأكل الخصوصية على شبكة الإنترنت".

بدأت هذه الأنشطة الشائنة بتغيير بعض المعتقدات المترسخة بعمق في الأذهان حول الإنترنت، وهي القدرة على التصفح بأمان و بهوية مخفية، سواء للعمل أو للمتعة.

يمكن أن يكون هذا نذيراً لإنترنت المستقبل التي تم خرقها بالقرصنة والتجسس. تخيل الحالة التي لا يستطيع فيها المستهلكون الوثوق بتفاصيل الدفع للشركات بسبب تهديدات لقواعد المعطيات على الإنترنت. فكّر كيف ستخفض قيمة الإنترنت إن لم يستطع الناس أن يفترضوا على نحو معقول أن هويتهم لن تُسرق لحظة تبادل معلوماتهم الأساسية مع طرف آخر عبر الإنترنت. ماذا لو أن حرية التعبير التي تتيحها مجتمعات الإنترنت أصبحت قوة تستعملها الحكومات في مواجهة مواطنيها؟ يمكن لجميع هذه القضايا أن تُقوض فعالية الإنترنت ك "شبكة الشبكات".

يقول Savundra: "أعتقد أنه إذا انتشر تراجع الخصوصية على نطاق واسع فسيبدأ الناس في استعمال خدمات الإنترنت على نحوٍ مختلف".

يرى Savundra في الحوار المنتظم والصحيح حول الخصوصية والقرصنة وقضايا السلامة على الإنترنت حلاً رئيساً لهذه المشكلة إذ يقول: "تُصمّم الإنترنت من قِبل البشر ولخدمة البشر. هناك الكثير من الأشخاص الأذكياء الذين سيدافعون عن حقوقهم عندما تتعرض حرياتهم للخطر، إما عن طريق السياسة أو التقانة".

لدى Kamkar نصيحة مختلفة فيما يتعلق بالتهديدات الخطرة للبنية الأساسية المهمة للإنترنت، ربما يقدمها كهدية تذكارية ساحرة من أيام عمله في الظل قرصاناً ومفادها: "أن أعظم وسيلة لمنع هذه القضايا هي أن نفهم أن معظم هذه الأنظمة غير آمنة بطبيعتها".

قراءات مختارة

- Chang, Alexandra, Why Undersea Internet Cables Are More Vulnerable Than You Think. *Wired*, <http://www.wired.com/2013/04/howvulnerable-are-undersea-internet-cables>
- Hill, Kashmir, 10 years after his epic MySpace hack, Samy Kamkar is trying to turn hackers into heroes. *Fusion*, 2015; <http://fusion.net/story/180919/samykamkar-is-a-white-hat-hacking-hero>
- Greenberg, Will, String of West Coast attacks on Internet fiber optic cables leads to FBI investigation. *The Washington Post*, 2015; <http://http://wapo.st/1TStnhI>

الكاتب

Samy Kamkar الذي قرصن شبكة MySpace الاجتماعية باستعمال دودة Samy عام 2005 أصبح اليوم من قراصنة القبة البيضاء، فهو يساعد الشركات في سد الثغرات الأمنية قبل أن يُساء استغلالها.

حدود اللامألوف

THE EDGE OF THE UNCANNY*

Gregory Mone

ترجمة: د. رضوان قسطنطين

مراجعة: د. خالد مصري

يزداد تعلّم العلماء أسباب جاذبية الروبوتات والربوطات الحوارية.

في المحادثة، تعترف ميتسوكو (Mitsuku) بأنها لا تعرف: أئمة معنى لاسمها؛ هو ببساطة الاسم الذي سماها به أبوها. فعلياً، لا أب لديها حقاً. لديها Mousebreaker¹، وهو تقنياً ليس شخصاً وإنما فريق من المبرمجين الذين يحبون البيرة والكارتي ويتشاركون الخوف من الداليكات (Daleks) (الربوطات الغريبة الشريرة للدكتور Who).

ميتسوكو سريعة البديهة، مُربكة أحياناً، وجذابة على نحو غريب. وهي أيضاً ربوط حوارية (chatbot) مبني على المنصة A.L.I.C.E. (اختصاراً لـ "كيان حاسوبي لغوي صناعي على الإنترنت Artificial Linguistic Internet Computer Entity")، التي ابتكرها أساساً ريتشارد ولاس (Richard Wallace) في عام 1995. بإمكان ميتسوكو إجراء مئات آلاف المحادثات يومياً، بحسب لورين كونسي (Lauren Kunze)، مدير شركة باندرابوتس (Pandorabots) في أوكلاند في كاليفورنيا صاحبة هذه التقنية، ويقول عنها كونسي: "هي لا تفعل حقيقةً أي شيء، وهي ليست مُصمّمة لتساعدك. فهي يمكنها إخبارك عن حالة الطقس، أو أن تجري عملية بحث على الإنترنت، ولكنها موجودة فقط لمجرد التحدّث معك، وهي مشهورة جداً بين اليافعين. يقول لها الناس: أحبك وأنت صديقتي المفضلة".

هذه الجاذبية ليست مصادفة. لقد تقدّم مُصمّمو الروبوتات الحوارية (أمثال ميتسوكو)، ومهندسو الروبوتات الاجتماعية المادية، كثيراً في فهم كيفية بناء آلات أشد جاذبيةً. ومع ذلك، ما زال هناك العديد من التحديات، أحدها هو تصرفات البشر التي لا يمكن التنبؤ بها. تقول يولاندا جيل (Yolanda Gil) العالمية في علوم الحاسوب من جامعة كاليفورنيا الجنوبية، ورئيسة "المجموعة ذات الاهتمام الخاص بالذكاء الصناعي" (SIGAI)² من ACM: "إننا لا نفهم كيف سيكون رد فعل البشر على الروبوتات المادية أو البرمجية. إنه نوع من التقانات حيث لا يتوقف الناس عن إدهاشنا".

وحيث أنه لا توجد خطوط توجيهية مطلقة لبناء ربوطات اجتماعية فعّالة أو ربوطات حوارية جذابة، فقد برزت بعض المواضيع العامة.

* تُشير هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 9، أيلول (سبتمبر) 2016، الصفحات 17 – 19.

¹ موقع إلكتروني لألعاب تفاعلية أنشئ عام 2001. (المترجم)

² SIGAI: Special Interest Group on Artificial Intelligence.

النفور. لقد وجد الباحثون أدلة على أن الروبوتات الشبيهة بالبشر ذات الإمكانيات العالية تزعج الناس لأنها تمثل تهديداً لتفرد البشر، أو لأنها تنكّرنا فعلياً بالجنث، على مستوى اللاوعي.

تولّد الروبوتات البشرية الفائقة الشبه بالبشر توقعات اجتماعية عالية أيضاً. يقول عالم الروبوتات كارل ماك دورمان (Karl F. MacDorman) من جامعة إنديانا: "حين يكون لديك مظهر يشبه البشر، فإن الناس تتوقع مستوى موائماً من التصرفات الواقعية". على سبيل المثال، كان ماك دورمان يدرس، في عام 2005، في مخبر الروبوتية الياباني هيروشي إشيغورو (Hiroshi Ishiguro)، عندما اختبرت مجموعته روباتاً شبيهة بالإنسان يتفاعل اجتماعياً في مؤتمر. في البداية، أعاق ضجيج الخلفية برمجياتِ تعرّف الكلام، مما سبب تأخيراً في ردود الربوط إلى أن أضاف العلماء معالجات إضافية. لم يتناسب هذا التأخير اللابشري الأولي مع المظهر الحيوي، وكان التأثير مزعجاً للحضور الأوائل.

في حين يمكن للروبوتات التي تبدو شبيهة كثيراً بالبشر، ألا تكون مثالية للتفاعل الاجتماعي، فإنه ثمة جانب سلبي أيضاً لشدة شبه الروبوتات بالآلات. يقول إيليا غيلفينبيم (Ilya Genfenbeyn) مؤسس منصة (Api.ia) التي تسمح للشركات ببناء روبوتات حوارية حسب الطلب، أن بإمكان برمجياته معالجة النص وتوليد الإجابة خلال 50 ملي ثانية فقط. في السابق، طوّر غيلفينبيم تطبيقاً حوارياً شبيهاً بسيري (Siri)⁴، الذي كان أبطأ، ويلاقي أحياناً صعوبة في التحاور، لأنه كان يحتاج زمناً أطول لمعالجة الكلام. تبدو سرعة ربوطه الحوارية وفعاليتّه خطوة واضحة إلى الأمام. مع ذلك، كانت السرعة معضلةً بالنسبة إلى زبائن غيلفينبيم. فعندما يتراسل البشر فيما بينهم، فإننا نتوقف قليلاً بين الإجابات؛ في حين أن ربوطاته الحوارية كانت تجيب فوراً. ويقول: "لست معتاداً الحصول على الإجابات فوراً، لذلك أتناقش مطالبات بتأخير الإجابات؛ وإلاّ فستبدو غير طبيعية".

مُصمِّمة لهدفٍ معين

بحسب كوري كيد (Cory Kidd)، المدير التنفيذي لشركة كاتاليا للصحة (Catalia Health): تتعلّق الخيارات الخاصة التي نعتمدها، عند تصميم ربوطٍ اجتماعيٍّ فعّالٍ، بوظائفه أيضاً. ترأس "كيد" إنشاء الربوط التفاعلي الاجتماعي مابو (Mabu) من شركة كاتاليا، الذي سيعمل مدرباً في العناية الصحية داخل المنزل، لتشجيع المرضى على اتباع الخطط الطبية التي يصفها أطباؤهم. ستذهب الوحدات الأولى من هذا الربوط إلى منازل المرضى هذا العام، وهدفها أن يبقى هؤلاء الناس خارج المشفى.

لا يتحرك الربوط "مابو" ولا يتعامل مع الأغراض؛ يتكوّن الربوط الأصفر الصغير من جذع شبه بشري، ورأسٍ تشبه سماتٍ وجهه شبهها قليلاً الشبح اللطيف كاسبر (Casper)، ومن لوحٍ (tablet) تفاعلي. حين كان "كيد" وزملاؤه يُصمّمون "مابو"، كانوا يعلمون أنهم بحاجة إلى شيءٍ ما، يمكن أن يجذب الناس، ويبني الثقة، ويتحرك في المنزل بطريقة ذات أثر قليلٍ على المحيط. كانت العيون من بين أولى اهتماماتهم. فقد اختبروا أشكالاً بعيونٍ واسعة تُذكّر بشخصيات الرسوم المتحركة، وأخرى تشبه المُجسمات الرقمية في أفلام شركة Pixar. أخيراً، استقروا على شيءٍ بين الاثنين: جذّاب ولكن ليس كرتونيا جداً، "مابو" يشبه الدمية. ويشرح "كيد": يجب أن تكون العيون مناسبةً، لأن إنشاء تواصلٍ عينيٍّ أمرٌ مهم، ويقول: "من وجهة نظر علم النفس، هذا حقاً أساسيٌّ في المساعدة على جذب الانتباه وحمل الآخرين على التحاور".

⁴ مساعد شخصي نكي يفهم الكلام ويجيب عن الأسئلة. (المترجم)

كان الحجم محطّ اهتمامٍ آخر. فإذا كان الربوط كبيراً جداً فإنه يصبح مهيباً وربما مُهدّداً، أمّا إذا كان صغيراً جداً، فلن يرغب الناس في التفاعل معه. يقول "كيد" إنهم لم يريدوا أن ينحرفوا بعيداً جداً عن الشكل الشبيه بالإنسان، وطوّروا آلةً مشابهةً له: "إذا أنشأت شيئاً يشبه الكلب أو القطة فسيكون هناك ميلٌ طبيعي للتحاور، ولكن إذا كنت تفعل ما نقوم به نحن، بناءً مدربٍ للعناية الصحية، حسناً، فلن أثق بكلي في النصائح الطبية".

قوة الشخصية

لا يحتاج "مابو" والربوطات الاجتماعية الأخرى التي تبدو آلات جذابة، أن تبدو كالبشر في مظهرها أو تصرفاتها، ولكن المهم أن تكون شخصيةً جذابة. استأجر "كيد" وزملاؤه كاتبَ سيناريو سابق في هوليوود لكتابة قصة "مابو". إنهم لم يتشاركوا القصة، لذلك لم تكن نوعاً من مسرحيات العلاقات العامة الجذابة؛ عوضاً عن ذلك، كان الهدف مساعدتهم على تعريف استجابات الربوط ورؤود أفعاله، معمّقين بذلك التفاعل مع المريض. يقول "كيد": "إذا كان عليك أن تضع هذا الربوط في منزل المريض طوال سنوات، يجب أن يكون له شخصيةً متسقة، إن هذا جزء من بناء الثقة مع الشخص، تعطيهم شيئاً يمكن تصديقه والثقة به".

يبقى الأمر صحيحاً مع ربوطات الحوار، بحسب تيم ديلهايس (Tim Delhaes) من مختبرات إنباوند (Inbound)، وهي وكالة تسويق تنشئ ربوطات لزيائنها باستعمال منصة Api.ai. غالباً، حين يأتي إلى الشركة زبونٌ جديد، يجب إدخال معلومات أساسية إلى عدة منصات للمشروع: إدارة ومبيعات وتسويق. يمثل ربوط الحوار من مختبرات "إنباوند" إحدى الواجهات التي تختصر الوقت لكل عمليات إدخال المعطيات الرتبية هذه. يجمع الربوط الحواري المعلومات التي يحتاجها من خلال سلسلة من الأسئلة والإجابات، ثم يُحدّث مختلف المنصات على نحو مستقل. ومع ذلك يقول ديلهايس أن التفاعل يجب أن يكون ممتعاً: "كلما جعلت الربوط الحواري يشارك بطريقة طبيعية مع البشر، زاد احتمال أن يستعمله الناس أو يستمتعوا باستعماله".

لقد مكّنت المنصة Api.ai لديلهايس من تصميم ربوطه الحواري الخاص به، وقد مَحَوَّر شخصيته حول "مارفن"، الربوط مورش في مسلسل "دليل السفر المجاني إلى المجرة"⁵. ثم كتب إجابات مناسبة لتلك الشخصية. وبهذا، فحين يطلب مستثمراً من "مارفن" فإن جوابه قد يكون: "لا، ماذا تريد الآن؟" أو ببساطة: "قم بالعمل بنفسك". يمكن في النهاية ألا يقوم الربوط بالمهمة، ولكن ديلهايس يؤمن بأن اختلافه عن البشر جزءٌ من جاذبيته.

لا تحتاج الآلة الجذابة، أن تبدو كالبشر في مظهرها أو تصرفاتها، ولكن المهم أن تكون شخصيةً جذابة. في الوقت نفسه، يذكر ديلهايس أنه لا يحاول خداع الناس بجعلهم يعتقدون أنهم يتفاعلون مع بشر. ويقول: "من الواضح أنه زائف، الناس يعرفون أنه ربوط".

وبحسب كونتسة Kunze من باندورابوت فإن هذا التمييز والوضوح مهمان. وهي تُحاجُّ أن على الربوطات الحوارية أن تكون صريحةً فيما يخص وضعها كآلات، لأن هذا يساعد على بناء الثقة. حين تعطي "ميتسوكو" جواباً محيراً، فإنها تذكر الشخص أمامها "أنها" مجرد برمجية وتقتح طرقاً لمساعدة البرمجية على التعلّم وتحسين الإجابات.

⁵ The Hitchhiker's Guide to the Galaxy: مسلسل مضحك يعتمد على الخيال العلمي. (المترجم)

وتقول كونتيسة: "تشير كل المعطيات لدينا أن الارتباط يكون أعلى بكثير حين تكون الروبوتات تشبه البشر. إذا كنت تتحدث إلى شيء ما كل يوم للقيام بأعمالك، فعليك أن تستمتع بمن تحدثه".

صعوبة الجاذبية العامة

مع ذلك، ما زال يصعب التنبؤ بسلوك البشر في المعادلة. حتى الروبوتات والروبوتات الحوارية المُصمَّمة بعناية عالية، لن تكون جذابة لكل الناس، بحسب مارتيج دو غراف (Maartije de Graaf) عالمة الاجتماع في جامعة توننت (Twente) في هولندا. وقد أصدرت أخيراً نتائج دراسة تقيس مدى تفاعل الناس مع ربوط اجتماعي منزلي يشبه الأرنب اسمه "كاروتز" (Karotz). لقد تحدث غالبية المشاركين في الدراسة، وعددهم اثنان ومئة شخص، إلى الروبوت، وبعضهم أطلق عليه اسماً، ولكن آخرين أقرُّوا بشعورٍ غريب غير مريح حين يبدأ الروبوت محادثةً، واختاروا أن يخففوا من تفاعلاتهم الاجتماعية. يقول "كيد" أن الطيف الواسع من شخصيات المرضى الذين سيقابلهم "مابو" كان محط اهتمام منذ البداية. إن المحادثة الأولى التي يجريها الروبوت مع البشر هامةٌ جداً من حيث بدء الارتباط ووضع الآمال وبناء الثقة وغيرها. ويقول: "لقد أنشأنا الكثير من المحادثات الأولية، ولكن بالنسبة إلينا، يعتمد الأمر كثيراً على شخصية المريض، وكيف نتكفّف معها". سيحلل "مابو" نغمة صوت المريض، ومضمون إجابته، وحتى تعابير وجهه، وذلك لقياس ردِّ فعله وتوليد الإجابة المناسبة.

بطريقة ما، يجب أن نتوقع عدم إمكان التنبؤ باستجابة البشر لهذه الآلات، لأنها أساساً جديدة وغير مألوفة، بحسب عالمة النفس الاجتماعية ماريا باولة بالادينو (Maria Paolo Paladino) من جامعة ترينتو (Trento) في إيطاليا. وتقول بالادينو: "هذه الروبوتات ليست بشراً، ولكنها أيضاً ليست تماماً آلات، إنها كيانات مختلفة".

قراءات للاستزادة

- Asada, M. Towards Artificial Empathy. *International Journal of Social Robotics*, 6, 1, February 2015.
- MacDorman, K. F., and Entezari, S. *Individual differences predict sensitivity to the uncanny valley*. *Interaction Studies*, 16, 2, 141-172. 2015.
- Kidd, C.D. and Breazeal, C. Robots at Home: Understanding Long-Term Human-Robot Interaction. 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- Takayuki Kanda , Hiroshi Ishiguro, Human-Robot Interaction in Social Robotics, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, 2012
- Mabu: A Personal Healthcare Companion <https://vimeo.com/138783051>

تُشير تقنيات الإصلاح الذاتي إلى

الروبوتات التي تصمم نفسها

SELF-REPAIR TECHNIQUES POINT TO ROBOTS THAT DESIGN THEMSELVES*

Chris Edwards

ترجمة: د. أديب بطح

مراجعة: د. محمد عباسي

جرى تعليم الروبوتات لإبداع أبدال عندما تتعطل.

عندما قام باحثون في جامعة بيبير وماري كوري (UPMC) في باريس، فرنسا، عمداً بتعطيل اثنتين من أرجل روبوتهم السداسي الأرجل (hexapod)، اكتشفت الآلة لنفسها مشيةً قفزية جديدة لم تتغلب على إصابتها فحسب، بل أثبتت أنها أسرع من برنامج مشيها الأصلي. وعند تعطيله بطريقة أخرى، وجد الروبوت أنه يمكنه التحرك بسهولة أكبر على ظهره. كان هذا العمل جزءاً من الجهود الرامية إلى صناعة روبوتات يمكنها أن تتجاوز العطل وتُصلح نفسها عندما لا يكون هناك بشر لمساعدتها.

يلاحظ ديفيد يوهان كريستسن، الأستاذ المشارك في جامعة الدانمارك التقنية: "في المستقبل، يمكن للإصلاح الذاتي الفيزيائي أن يصبح حاسماً في تطبيقات لا يوجد فيها البشر للمساعدة أو لإصلاح الروبوتات، على سبيل المثال، في تطبيقات الفضاء أو التطبيقات تحت الماء."

تُنفذ إصلاحات روبوتية حالياً في الفضاء، إذ من المكلف جداً ومن الخطر أن يؤدي رواد الفضاء هذه المهمة. ففي عام 2014، استبدل الروبوت الكندي Dextre الملحق بمحطة الفضاء الدولية، كاميرا متعطلة مركبة على الذراع الذي ينقله عادة إلى موضع لإصلاح أنظمة أخرى موجودة على المنصة المدارية. وتُنفذ تلك الإصلاحات بتوجيه من مشغلين بشر موجودين على الأرض. ثمة استعمالات أخرى قد تكون عرضة لفشل الاتصالات، من قبيل استكشاف الكهوف تحت سطح البحر، أو المُدد الزمنية الطويلة المُصادفة في مهمات الفضاء السحيق، تجعل من الضروري إعطاء الروبوت القدرة على إصلاح ذاته، أو تجاوز العطل إذا لم يكن الإصلاح ممكناً.

* تُشير هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 59، العدد 2، شباط (فبراير) 2016، الصفحات 15 - 17.



ساعد الروبوت Dextre في إصلاح محطة الفضاء الدولية عام 2014

يقول جان باتيست موريت، الباحث المشارك في جامعة بيبير وماري كوري (UPMC): "هناك مقياسان زمنيان للتعافي. الأول على المدى القصير، تماماً كمن يذهب إلى المستشفى لتلقي العلاج، وهذا ما نقوم به بتجارينا. فيواسطة التكيّف مع العطل، يمكن للروبوت العودة إلى قاعدته. ولكن بعد ذلك ثمة حاجة لإعادة بالسرعة إلى أدائه الكامل. يمكننا الحصول على " ربوط أم يمكنه أن يزود وحدات أخرى، ويعيد تجميع الروبوت المعطل بطريقة جديدة، أو ربما يمكنه أن يصنع وحدات جديدة لتحسين الروبوت بعد أن يكون قد اكتسب خبرة مما هو مطلوب".

يشير ألان وينفيلد (Alan Winfield)، من شركة هويلت-باكارد أستاذ الإلكترونيات في جامعة غرب انكلترا، إلى فكرة "مصنع تطور" يقوم فيه " الروبوت الأم" بأخذ العطل في الاعتبار، وإذا كان غير قادرٍ على استبدال المكونات المعطوبة، سيقدم على الفور بدائل باستعمال تقنيات مثل الطباعة الثلاثية الأبعاد (3D).

يقول وينفيلد، " الأكثر غرابة في ذلك، يمكنك بالتأكيد أن تتخيل ربوطاً يملك أجزاءً من تقانة الطباعة الثلاثية الأبعاد (3D) مدمجة فيه، بحيث إنك لا تتجاوز عمل الساق المكسورة فحسب، بل تُصلحها باستعمال بعض الأعضاء المدهشة الناتجة عن الطباعة الثلاثية الأبعاد يمكنك دمجها في الروبوت. إن الناس يفكرون بهذا الشأن".

من بين هؤلاء الناس باحثون مثل كير غليت (Kyrre Glette) وزملائها في جامعة أوسلو. تم تصنيع النبية الهرمية لربوطهم من أجزاء مطبوعة بطريقة ثلاثية الأبعاد (3D)، مع أنه تم تجميعها يدوياً ودمجها في محركات جاهزة تُمكنها من التحرك باستقلال. طور فريق العمل خوارزميات لإنشاء أجزاء مطبوعة 3D من مجموعة أساسية من الأشكال والعناصر

للتعامل مع بيئات مختلفة. إن الهدف من ذلك هو استعمال الخبرة الناجمة عن تطور أجزاء الروبوت بحيث يمكن في نهاية المطاف بناء روبوت يمكنه بناء أطراف إضافية عند الحاجة.

إن البحث في الإصلاح الذاتي الروبوتي هو في مراحله الأولى مع نجاحات قليلة فضلاً على التجارب الأساسية التي أجريت لإثبات المفهوم، مثل العمل مع أسراب من الروبوتات الصغيرة التي تعيد تكوين علاقاتها بعضها ببعض بناءً على ضغط خارجي. يقول وينفيلد "صنع الناس روبوتات هيث روبنسون (Heath Robinson) الغريبة (المعقدة جداً غير المعقولة) مزودة بمسدسات تطلق صمغاً. كانت النتائج تشبه قليلاً أطفالاً صغاراً يلصقون أنفسهم بالأرض.

يمكن أن يؤدي نهج السرب (swarm) إلى مقاربات مقاسية (modular) لتصميم روبوتي تُطور فيه الآلات أشكالاً جديدة وسلوكيات عندما تواجه ليس فقط العطل، وإنما مشاكل لم تصمم من أجلها أبداً. قد يجد الروبوت المقاسي الذي يمر عبر أنقاض مبنى في أعقاب زلزال أنه يحتاج إلى تشكيل نفسه إلى شكل ثعبان ليذحف إلى فجوة في الهيكل لتحديد موقع الناجين المدفونين.

يقول وينفيلد، "أنا منجذب جداً للمقاربة المعيارية والخلوية للروبوتية، لكن ما زلنا غير قادرين على بناء مكونات جزئية مرنة وموثوقة بقدر كافٍ. فنحن بحاجة إلى خلايا تملك درجة من الاستقلال تكون قادرة على التجميع الذاتي أيضاً". إن أحد التحديات في تطوير روبوتات قادرة على التكيف مع العطب، هو مقدار الوقت الذي تستغرقه للتوصل إلى الحل. وبعد العطل، على الروبوت أن يتدبر ما يجب القيام به بمحركاته وأطرافه المتبقية. تحول الباحثون بقدر كبير باتجاه الخوارزميات التطورية التي تحسن تدريجياً الحركات باستعمال تغيرات عشوائية، واستبعاد تلك التي لا تعمل، واستمثال تلك التي تبدو أنها واعدة. وثمة مشكلة كبيرة مع الأساليب التقليدية للتصميم التطوري، هي الحاجة أن تبدأ الخوارزمية داخل الروبوت من الصفر قبل الخروج بحل نظري قابل للتطبيق. يقول موريت، "سيكون البحث مدة 20 دقيقة أو أكثر ثم يُجرب شيئاً ليجد أنه لا يعمل".

باستعمال النهج التطوري الأساسي، قد يبقى الروبوت غير فعال ساعات بعد العطل. ولن يكون الروبوت في موقف خطر، مثل التفاوض على أرضية تنهار فجأة، قادراً على تحمل تلك التأخيرات الطويلة.

يقول موريت، "الشيء الرئيس هو أن البحث في هذه الفضاءات الضخمة لمختلف أنواع الحركة من البدء يأخذ وقتاً، ولهذا رأينا أنه ينبغي أن نبدأ مع بعض المعارف السابقة. ثم أدركنا أن هذا النهج منطقي لأنها الطريقة التي يعمل وفقها معظم البشر والحيوانات؛ فهم يعتمدون على خبرتهم السابقة. وهذا ما قررنا أن نفعله مع روبوتاتنا.

يتمثل الحل الذي طوره فريق UPMC، جنباً إلى جنب مع جيف كلون (Jeff Clune) من جامعة وايومنغ في لارامي، بتزويد الروبوت بالمعرفة الأساسية لأنواع الحركة التي من الممكن أن يعتمدها ويستعملها على أنها "نوى" لاستكشاف أنواع مختلفة من التنقل بعد تعطل جزء اعتباطي منه. لقد قاموا ببناء خريطة سداسية الأبعاد لأنواع مختلفة من الحركة استناداً إلى محاكاة شاملة ننفذها ربوط افتراضي، مُسجلين نتائجها وفق السرعة المتوقعة.

يقول موريت، "قمنا بتخزين نحو 13000 مشية مختلفة". "تستعمل كل مشية 36 موسطاً، ويحتاج كل واحد من تلك الموسطات إلى 4 بايت من المعطيات تقريباً. وهذا صغير جداً بالمقارنة بسعة التخزين الموجودة في جهاز مثل الهاتف المحمول. ولا نعتقد أننا سنكون محددين بفضاء مع هذا النهج".

عندما يصاب الروبوت، يختار حركة من الخريطة، مفضلاً تلك الأنواع من الحركة التي سبق أن سجّلت علامة جيدة في المحاكاة والتي ما تزال متاحة. وغالباً ما يجد الروبوت، عند إصابته، أن المحاكاة التي حازت العلامة الأعلى لا تعمل

جيداً في ظل الظروف الحقيقية، لذا تخفض الخوارزمية علامة المقاربة التي تم تجربتها، وتلك التي تقع في جوارها على الخريطة قبل أن تختار حركة أخرى على نحو عشوائي. وتتغير الخريطة بمرور الزمن، ويركز الربوط الاهتمام على التقنيات التي تُظهر مستوى من النجاح، وذلك باستعمال خوارزميات التعلم الذاتي والتجربة والخطأ لاستمثال حركته.

ويجري أيضاً تطوير تقنيات معتمدة على المحاكاة ستساعد الروبوتات في التعامل على نحو أفضل مع العقبات، وربما تجنب العطل في الحالات التي يدفعون بها أنفسهم بعيداً جداً. لقد ابتدع سيهون ها وكارين ليو من معهد جورجيا التقاني خوارزمية لمساعدة الروبوتات ذات الخصائص البشرية عند سقوطها بطرق للحد من الأعطال، وذلك بتخطيط مسارات مثل البكرات في محاولة لتحويل الصدمة الحادة إلى سلسلة من الملامسات مع الأرض تكون أصغر وأقل ضرراً. ومع ذلك، فإن الخوارزمية بصيغتها الحالية، بطيئة جداً في مساعدة الربوط ليقدر أي استراتيجية سقوط سيستعملها في الزمن الحقيقي. فتخطيط هذه العملية يمكن أن يستغرق مدة تصل إلى 10 ثوان.

وإضافةً إلى زمن المعالجة، فإن أحد الاهتمامات الرئيسية في أوساط مصممي الربوط يكمن في فعالية الخوارزميات المُختبرة أصلاً اختباراً واقعياً. حيث يقول كريستنسن، إن التقنيات المستندة على المحاكاة لها محدوديتها وتحتاج إلى إضافاتٍ أخرى عبر تجسيد مادي تجريبي. "برأيي، لا يمكن للنماذج التي استندت إليها المحاكاة أن تدرك حقاً تعقيد التفاعل بين الربوط والوسط المحيط. لذلك، يمكن أن تُستعمل المحاكاة نقطة انطلاق، لإقلاع وتسريع عملية التكيف، لكنها محدودة جداً لتحل تماماً مكان الاختبار العملي المتجسد".

إن شكلاً من أشكال الاختبار العملي المتجسد تم عرضه من قبل UPMC وفرق عمل ويومينك: ثمة أرضية زلقة بشكل غير عادي موجودة في أحد المخابرة الفرنسية، جرى تلميحها تحضيراً لزيارة سياسيين. وفرت الفرصة للربوط الذي صممه موريت وزملاؤه ليُظهر أن كان لديه مشكلة في المشي ويحتاج إلى تطوير مجموعة جديدة من الحركات يمكنها أن تُماشى السطوح غير المتوقعة. إن خبرة الربوط في التقلب على ظهره في جولة أخرى من التجربة، دفعت فريق العمل إلى النظر في تصميم جديد. بالنتيجة، يمكن لخبرة التكيف، أن تُلهم التصميم المستقبلية.

يقول موريت، "لقد ألهمت خبرة تكيف ربوطنا القادم. لدينا ربوط جديد أكبر قليلاً، وله أقدام في كلا الجانبين". يجادل وينفيلد أنه للوصول إلى حلول أكثر مناعة، على الربوطية أن تقتدي بالتطور البيولوجي على نحو أكبر، تعمل الخوارزميات التطورية اليوم على تعديل تصميم ربوط مفرد عن طريق المحاكاة. على حين يعمل التطور البيولوجي على مجتمعات من الكائنات في العالم الحقيقي. "تحتاج إلى مجتمعات من الروبوتات لتفكر بأفكار، ثم تجربها".

الكاتب

كريس ادوارد كاتب يعمل في مدينة ساري (Surry) في المملكة المتحدة (UK) يقدم تقارير في مجال الإلكترونيات، وتقنية المعلومات (IT)، والبيولوجيا التركيبية.

يمكن للتقنيات الحالية أن تساعد

المُعاقين

EXISTING TECHNOLOGIES CAN ASSIST THE DISABLED*

Keith Kirkpatrick

ترجمة: د. محمد عباسي
مراجعة: د. أميمة الذكالك

يدرس الباحثون كيفية تكيف منتجات تقنيّة مُتاحة على نحو واسع لأولئك الذين يعانون من عاهات جسدية.

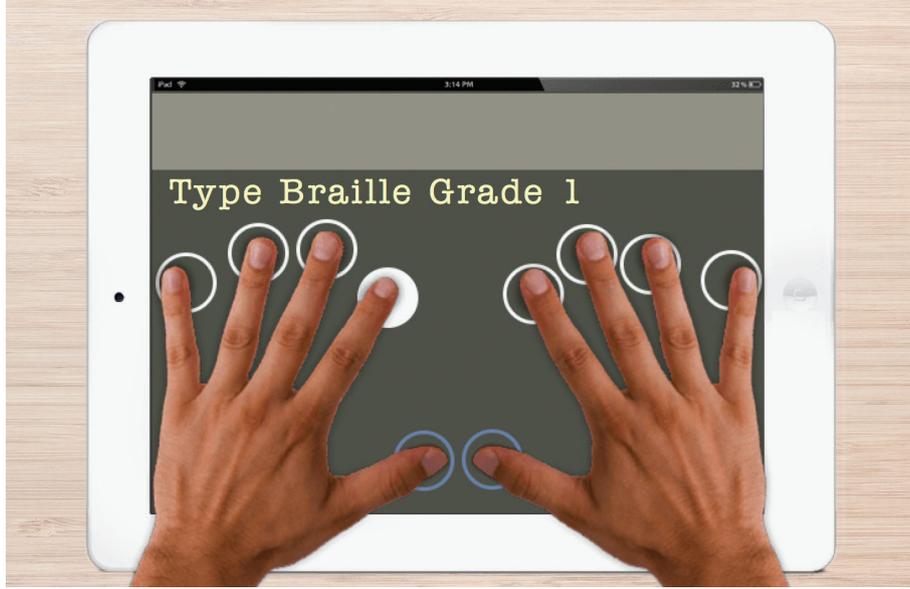
يعيش أكثر من 20% من البالغين في الولايات المتحدة بنوع من الإعاقة، وفقاً لتقرير صدر في أيلول 2015 عن المراكز الأمريكية لمكافحة المرض والوقاية منه. جرى تجهيز الأجيال الأخيرة من الهواتف الذكية، والألواح (tablets)، والحواسيب الشخصية، بمُميّزات نفاذ تجعل استعمال هذه الأجهزة أسهل، أو على الأقل، أقلّ صعوبة لأولئك الذين يعانون من عاهات في البصر، أو في النطق، أو في السمع. تضم هذه التحسينات وظائف من قبيل تقنية قراءة الشاشة (والتي تقرأ النص بصوت عالٍ عندما يُمرّر المستخدم إصبعاً فوقه)؛ وإشعارٍ بوميض الشاشة عند ورود مكالمة أو رسالة لضعيف السمع؛ وتحكُّم صوتي بالوظائف الرئيسية لغير القادرين على التعامل بدنياً مع الهاتف أو التحكم بالأجهزة الحاسوبية. ثمة تقنيات أخرى، يمكنها مساعدة المُعاق، طُرحت في السوق أو ستُطرح لاحقاً، وليست جميعها تركز على إتاحة النفاذ إلى الحواسيب أو الهواتف الذكية. ويقطع النظر عن توفير النفاذية، يتفق معظم المشاركين في عمليات السوق على أنه يجب أن يُعمل الكثير لمساعدة ذوي الإعاقة على أن يتعاملوا على نحو كامل مع عالمنا الرقمي المتزايد.

تقانات النفاذ النفاذ

ثمة عدد كبير من التطبيقات والتحسينات المتعلقة بالنفاذ في قيد الاستعمال هذه الأيام، ويعود الفضل في ذلك إلى الانتشار الواسع للحواسيب الشخصية، والهواتف الذكية، والألواح. تُعدُّ تقنيات قراءة الشاشة المذكورة آنفاً واجهاتٍ تخاطب جرى تطويرها لتُسهّل على الناس مشاهدة المحتوى على حواسيبهم والتفاعل معه، وهي تتفاوت في التعقيد وفي الخصائص (السمات) التي تُقدمها. تتفاوت تكلفة برمجيات قراءة الشاشة من مجانية، مثل برمجيات أوركا (Orca) التي تعمل مع

* تُشير هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 59، العدد 4، نيسان (أبريل) 2016، الصفحات 16 – 18.

تطبيقات من قبيل أوفيس المفتوح (OpenOffice)، وفاير فوكس (Firefox)، والمنصة جافا (Java Platform)، إلى الخيارات المدفوعة الأجر، من قبيل النفاذ إلى نظام سيروتك (Serotek)، الذي يُتيح النفاذ إلى مايكروسوفت ويندوز، و outlook، وقارئ أدوب (Adobe Reader)، وسكايب (Skype).



يسمح الجهاز أي برايلي نوتس iBrailier Notes لضغفاء البصر أن يكتبوا بطريقة برايلي على أجهزة الأيفون، والأيباد، والأيبود لمس، مع تغذية راجعة سمعية.

ومع أن لكل برنامج قارئ شاشة بنية أوامر خاصة به، فإن معظمها مُصمَّم بحيث يمكن للمُشغَّل أن يُرسل أوامر إلى الحاسوب بالضغط على مفتاح أو استعمال لوحة ملامس برايل (braille) ويأمره بقراءة نصِّ بصوت مرتفع، ومن ثمَّ يجعل مُركب الكلام في الحاسوب يقرأ سطرًا أو شاشة كاملة من نصِّ ما. تسمح الخصائص الأكثر تطورًا بالتحكم صوتياً أو بواسطة نظام برايل لفحص التهجئة، أو التحقق من موضع المؤشر، أو تعديل المحتوى.

صُممت تقنية أخرى، لمساعدة الأشخاص غير القادرين على الرؤية، على التفاعل بسهولة أكثر مع أجهزة حواسيبهم، وهي تتضمن حلولاً برمجية/عتادية يمكنها قراءة المحتوى على الحاسوب ومن ثمَّ تزويد الخرج بطريقة برايل. تلتقط البرمجيات كلماتٍ وصورًا من صفحات الوب، ثم تُحوِّل ذلك المحتوى إلى صيغة رقمية من برايل، تُستعمل هذه الصيغة بعد ذلك لنتحكم كهروميكانيكياً بمجموعة دبابيس مُحتواة في خلايا، رُنِّبت بمحاذاة بعضها بعضاً. عندما يلمس شخص كفيف كل خلية، يُعاد تشكيل توليفة الدبابيس لتمثيل السطر التالي من النص الذي تجري قراءته. تشمل بعض أمثلة هذه الأنواع من لوحات إظهار برايلي القابلة للإنعاش، لوحة إظهار Focus 14 برايل اللاسلكية السهلة الحمل (Ultra-Portable Wireless Braille Display) من شركة فريدم سينتيفيك (Freedom Scientific)، والمؤلفة من 40 خلية (بسرعة \$1,295) واللوح الأكبر Alva BC860، المؤلفة من 80 خلية (بسرعة \$8,995)، والتي تُقدِّم ربطاً بأن معاً بحاسوبين أو بحاسوب وهاتف ذكي.

لم يتجاهل مُصنعو الهواتف الذكية هذا السوق، أيضاً. فقد سجلت شركة آبل براءة اختراع لتقنية "أجهزة تتحسس بالتأرجح"، في عام 2011، يمكنها كشف إيماءات اليد التي تجري بالقرب من الشاشة. وقدمت الشركة المنافسة سامسونغ دعماً لميزة التصوير الجوي الخاصة بها، والتي تتيح للمستخدمين تكبير نص أو تفعيل تطبيقات دون لمس الشاشة، على بعض تجهيزات الطائفة غلاكسي (Galaxy) التي تعمل بنظام التشغيل غوغل أندرويد (Google Android).

يعمل فريدريك بولمان (Frederic Pollmann)، الباحث في مجموعة الوسائط الرقمية في جامعة بريمن (Bremen) في ألمانيا، على مسألة النفاذ والأجهزة الذكية، التي قادت إلى تطوير تطبيق للأجهزة النقالة يدعى هوفر زوم (HoverZoom). هوفر زوم هي وظيفة (ميزة) كشف الإصبع، التي تُكبر على نحو ملحوظ المنطقة من لوحة الملامس تحت إصبع المشغل، لجعل لوحة الملامس المستعملة أفضل للقراءة وأسهل استعمالاً. وهذا يُتيح للأشخاص الذين يجدون صعوبة في التحكم بالحركات الدقيقة، كأولئك الذين يعانون من داء باركنسون، استعمال الجهاز بسهولة أكبر، إذ لا يحتاجون لوضع أصابعهم مباشرة على سطح صغير لتفعيل مفتاح.

يتناول التطبيق مسألة هامة من المتوقع أن تصبح أوسع انتشاراً مع انتقال جيل الطفرة السكانية¹ إلى عمر متقدم: اضمحلال القدرات أو ضعفها.

يقول بولمان " لدينا حالة-استعمال حيث اعتاد الناس الآن استعمال الهاتف الذكي، دون الحاجة إلى نظارة. ولكن في غضون خمس سنوات، ربما يحتاجونها لاستعمال الهاتف الذكي."

الولوج إلى الحياة

ثمة اهتمام رئيسي لدى كل من الباحثين والتربويين هو التركيز على التقانة بهدف الترفيه أو الإنتاجية، ربما عوضاً عن التركيز على أدوات تساعد الناس على مهامهم اليومية ونشاطاتهم. وفي الوقت الذي ساعد فيه استعمال التقانة المتنامي في لوحات اللّعب على تطوير التقنيات المُساعدة، يعتقد بعض الباحثين أنه لم يُعمل ما يكفي ليكتشفوا كيف يمكن ملاءمة هذه التقنيات على نحو خاص لمساعدة ذوي الإعاقات الشديدة.

يقول ماركوس برول (Markus Pröll) مؤسس شركة حلول البرمجيات اكزيستي (Xcessity)، في غراز (Graz)، ومقرها النمسا، ومُطوّر تقنيات تفاعل الإنسان مع الحاسوب، " عندما نرى أن لدينا تقنية من قبيل كينكت (Kinect)² نستعملها في لعب الرقص (الحاسوبية)، من المحزن ألا نرى أحداً يُفكر كيف يمكن استثمار هذه التقنية لأسباب أفضل." طوّر برول وفريقه تقنية مساعدة، باستعمال [المُجسّ] كينكت من مايكروسوفت، تسمح للأشخاص المعاقين جداً بالولوج إلى الحاسوب دون استعمال اليدين البتة. وباستعمال مُجسّات كينكت هذه لتعقب حركات رأس الشخص والتعبيرات الوجهية، يمكن لضعيفي الحركة أن يتحكّموا بمؤشر الفأرة وأزرارها دون استعمال أطرافهم.

يعمل مُطورون آخرون على تطبيقات صُمّمت لمعالجة مشاكل حقيقية محددة تواجه ذوي الإعاقات. ويُعدّ التطبيق iOS³، "العيون الرقمية"، الذي يُنشئ لصيقات لرماز QR⁴ يمكن لصقها على المواد اليومية، وبعدها تُقرأ بكاميرا ذاتية

¹ Baby Boomer generation هم الذين وُلدوا بعد الحرب العالمية الثانية، بين عامي 1946 و 1964 تقريباً أي تقع الآن أعمارهم بين 53 و 71 عاماً. (المترجم)

² Kinect: مُجسّ (sensor) حركة من شركة مايكروسوفت مُضاف إلى لوحة اللعبة Xbox 360. والجهاز يزود واجهة تخاطب يدوية تسمح للمستخدمين بالتفاعل على نحو حدسي ودون أي جهاز وسيط، مثل المُتحكّم. (المترجم)

التمركز " مُتضمنة في الآيفون، مثلاً على أن التقنيات المدمجة في الأجهزة الحالية تحتاج ببساطة إلى ملاءمتها للتركيز على قضايا إمكان النفاذ، مثل طباعة لصيقات خاصة بالمواد على المواد المنزلية مثل فناجين القهوة، أو الهواتف أو حتى فراشي الأسنان.

في خلال ذلك، يُطوّر باحثو الروبوتية في جامعة كارنيجي ميلون (Carnegie Mellon) روباتٍ مُساعدة لمساعدة المسافرين المكفوفين. بدءاً من رباط له مواصفات البشر (humanoid) يُدعى باكستر (Baxter) صنّعه فريق Rethink Robotics في بوسطن، عدّل الباحثون باكستر ليُقدّم مساعدة بصرية وبدنية في مكتب للاستعلامات في مركز عبور مزدحم عند عدم توفر عمال بشريين. إن الهدف النهائي للمشروع هو مُكاملة الربوط مع تطبيق ملاححة للهاتف الذكي وصولاً إلى، تقديم روبات نقالة يمكنها بدنياً إرشاد الأشخاص المكفوفين على نحو مُشابه لكلاب الإرشاد.

يقول برول لأولئك الذين يتعاملون مع الإعاقات، إن أكبر العقبات اليوم ليست مُجرد تَقْنِيّة، لكنها تتعلّق بالتغلّب على قضايا التواجه. " لدينا كل التقانات المطلوبة لجمع أي إشارات من الجسم يمكن أن نتخيلها". ويضيف " بالطبع انا أتحدث عن البحث المتعلق في التخابط بين العقل والحاسوب وما شابه، ولكن عموماً يمكننا الحصول على معطيات كثيرة جداً من أي حركة جسم، إلى حركة العين ومتابعة العين. [ولكنها] دوماً مسألة التواجه مع التطبيقات الحالية". ويؤكد السيد برول فيما يخص من لديهم حالات عجز حاد من قبيل التصلّب الضموري الجانبي ALS⁵، إذ أنه يستحيل عليهم استعمال واجهات تخاطب الإدخال والتحكم التقليدية مثل شاشات اللمس وحتى الأوامر الصوتية، ونحتاج إلى أبدال أكثر تطوراً وتعقيداً، من قبيل تتبع العين وقياس موجات الدماغ.

الولوج إلى الصحة

ابتكرت كيل ريكتر (Kyle Rector)، خريجة جامعة واشنطن، تطبيقاً برمجياً يدعى "يوغا بدون استعمال العيون" (Eyes-Free Yoga) لمساعدة وإرشاد المكفوفين أو ضعيفي البصر في ست وضعيات يوغا، مثل وضعية المحارب-آي (Warrior I) ووضعية الشجرة. يستعمل هذا التطبيق علم الهندسة ليحسب الزوايا المناسبة المطلوبة لإتمام وضعية يوغا، ثمّ يقرأ وضعية جسم الشخص بواسطة كاميرات كينكت وتقنية تعقّب هيكلي. يُقارن التطبيق وضعية جسم المستخدم مع الوضع الصحيح لوضعية اليوغا، ويُعطي تعليمات شفوية مع تغذية راجعة سمعية لإرشاد الشخص إلى الوضعية الصحيحة. اختارت ريكتر [المُحس] كينكت بسبب برمجياته المفتوحة المصدر، وبسبب الانتشار الواسع لعناداته أيضاً. وقد اعترفت بأن التحدي الأكبر الذي واجهته هو " لتوثيق [عملية الإعداد] بطريقة جيدة تكون كافية بحيث يمكن لشخص، يمتلك قارئ شاشة، إيساق وإرساء البرمجيات و[إعداد] كاميرات كينكت دون مساعدة".

في خلال ذلك، عمل ايلك فولمر (Eelke Folmer)، الأستاذ المساعد في علم الحاسوب ورئيس المخبر هيومن بلس (Human Plus) في جامعة نيفادا رينو (Nevada Reno)، مع كلّ من طوني موريلي (Tony Morelli) من جامعة وسط ميشيغان (Central Michigan)، وجون فوللي (John Foley) من جامعة نيويورك الحكومية (State University of

³ iOS (iPhone Operating System) برمجيات تسمح لمستخدمي الآيفون بالتعامل مع أجهزتهم بالإيماء من قبيل الضرب والقْرص. (المترجم)

⁴ QR code (Quick Response code) رماز آلة موثوق يتألف من مصفوفة مربعات بيضاء وسوداء (شبيه بالبار كود) تُستخدم لتخزين عناوين مواقع أو معلومات أخرى تُقرأ بواسطة كاميرا مُركّبة على الهاتف الذكي. (المترجم)

⁵ Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS): داء عصبي حاد يصيب الخلايا العصبية في الدماغ وفي النخاع الشوكي. (المترجم)

(New York) في كورتلاند (Cortland)، ولورين ليبرمان (Lauren Lieberman) من جامعة نيويورك الحكومية في بروكبورت (Brockport)، لتطوير مشروع سميّ VI Fit⁶، يُقدّم نسخة خاصة بالحواسيب الشخصية مُعدّلة من لعب نينتندو Wii (Nintendo Wii) الشهيرة. استعملت النسخة الأولى، VI Tennis⁷، نظام تحكم عن بعد Wii⁸ مُعدّل ليُرَوِّد تغذية راجعة لمسيّة، مع مؤثرات سمعية وكلامية، تسمح للاعبين المكفوفين بـ "رؤية" الكرة ولعب نسخة من اللعبة. نشر فولمر منذ ذلك الحين نسخاً مُتأقلمة مع لعبة البولنج (Wii Bowling) (Wii)، ولعبة دَلّ والكُم (Pet-n-Punch)⁹، وهي لعبة مُستوحاة من لعبة اضرب الخلد بقوة (Whack-a-Mole)¹⁰.

يقول مولر "لا يُشارك كثير من هؤلاء الأطفال في النشاطات البدنية المُعتادة لأنها غير آمنة"، في إشارة إلى دراسة أجراها مُساعدُه لورين ليبرمان، الذي وجد أن أهالي ضعيفي البصر قلقون عادة من خطر السقوط أو مخاطر أخرى تنجم عن التمرن في الهواء الطلق، أي البيئة غير المُتحكّم بها. ويضيف مولر "نظرت إلى هذه اللّعب فوجدتها مُسلية جداً، ويُمكنك ممارستها على نحو مُستقل، وهي آمنة للّعب".

ثمة موضوع آخر يؤثر في مُتاحة التقنية المساعدة، هو قلة الدعم المركزي لحلولٍ سهلة المنال، من قبل مجتمع المُعاقين. لأن الاحتياجات والتحديات للأشخاص المكفوفين مُتميّزة عن احتياجات ذوي العاهات الأخرى، كفقد السمع، أو مسائل التحكم بالعضلات، أو إعاقات أخرى (مثل عُسر القراءة)، فلا يوجد دعم مركزي لزيادة إمكان الولوج.

من الواضح أن هؤلاء المُعاقين دعماً من منظمات حكومية وصناعية. تعمل إدارة مكتب العمل الأمريكي لسياسة تشغيل المُعاقين (ODEP) كداعمٍ لذوي الإعاقة، كما أن جمعية صناعة التقانات المُساعدة (ATIA)، هي جمعية مُصنّعين داعمة لتطوير التقانات المُساعدة. من ناحية ثانية، مع أن احتياجات وتحديات فاقد البصر مُتميّزة عن احتياجات أولئك الذين يعانون من إعاقات أخرى، مثل فقد السمع، أو مسائل التحكم بالعضلات، أو إعاقات أخرى (مثل عُسر القراءة)، فإنه لا يوجد دعم واحد من مجتمع المُعاقين ذاته للبحث على ابتكارات أعظم.

ومع ذلك، تُحاول مجموعة أخرى، تعمل بعيداً عن جامعة واشنطن، التصدي للإعاقات من منظور شمولي. يعكف مركز DO-IT (إعاقات، وفرص، وتشبيك، وتقانات)، وهو منظمة غير ربحية، على تمكين الأشخاص ذوي الإعاقات من خلال التقانة والتعليم. يسعى مركز DO-IT -بالعمل مع أطفال المدارس والثانويات- للحصول على منح وتمويل لدعم التبصير وقابلية النفاذ (إلى التقانات)؛ ومنذ تأسيسه في بداية تسعينيات القرن الماضي، حصل على منح تصل إلى 55 مليون دولار.

إن أكبر برنامج للمركز، حوسبة النفاذ (Access Computing)، يوفّر تمويلاً لزيادة مساهمة الطلاب ذوي الحاجات الخاصة في مجال الحاسوب. صُمم البرنامج بقيادة شيريل برغستالر (Sheryl Burgstahler)، مؤسس مركز DO-IT، وريتشارد لادنر (Richard Ladner)، أستاذ هندسة وعلم الحاسوب في جامعة واشنطن، لمساعدة الطلاب المُعاقين على

⁶ Visually Impaired: من لديهم صعوبات بصرية. (المترجم)

⁷ تنس لذوي الإعاقات البصرية. (المترجم)

⁸ Wii: طرفية خاصة بألعاب الفيديو. (المترجم)

⁹ لعبة حاسوبية، يساعد فيها اللاعبون الرجل المزارع في طرد القوارض من حقله بلكمها على الرأس، فيما عليهم تدليل القطط. (المترجم)

¹⁰ لعبة تعمل باستخدام النقود المعدنية يقوم اللاعبون فيها بضرب الخلد الذي يظهر على نحو عشوائي ليعود إلى جُحره. (المترجم)

الانخراط أكثر في مجال الحاسوب، وهذا الأمر يمكن أن يقود إلى تكامل أفضل لخصائص قابلية الولوج في تطبيقات وتقنيات المستقبل.

"ثمة حاجة إلى قادة في مجتمع المُعاقين"، يوضّح السيد برغستالر. "غالباً ما يعرف القادة كثيراً عن مجتمعهم الخاص، مثل فقد البصر، لكن هؤلاء الأشخاص لا يعرفون كثيراً عن إعاقات التعلّم أو متلازمة أسبرجر¹¹. إن جميع برامجنا هي عن فن القيادة، ولهذا نتوقع أن يُحيط الطلاب علماً بالإعاقات المختلفة، وأن يصبحوا أنصاراً لكل مجتمع [المُعاقين] وليس فقط لأنفسهم."

ومع ذلك، فإن حجم السوق الصغير نسبياً الخاص بأولئك الذين يعانون من إعاقات خاصة، يُصعّب على مزوّدي العتاديات والتقانات السائدة، تبرير ابتكار تقنيات سهلة المنال موجهة بخاصة إلى كل مجتمع من تلك المجتمعات أو إنتاجها، أو توزيعها. هنا يُمكن بل ويجب - اختبار التقنيات التي جرى استعمالها بنجاح في مجالات أخرى لمعرفة إمكان استعمالها لمواجهة قضايا قابلية الولوج.

تقول ريكتز "من سوء الحظ، فيما يتعلق بالشركات، لا يمكن دوماً تسويق كل إضافة تقنية خاصة بكل إعاقة، لأنك لا تعلم كم سيكون حجم الطلب عليها."

من ناحية ثانية، يقول برول أن النظر في الحلول القائمة في الأسواق المجاورة والبحث في إمكان ملاءمتها للاستعمال في قضايا سهولة الولوج، قد يُساعد على زيادة حجم السوق المُحتمل لتقنية مُعيّنة.

يقول برول "أنا استعمل تقانة تتبع الوجه التي تُستعمل في سوق الرسوم المتحركة. إن وضع هذه التقنيات في الاستعمال، والتفكير في: كيف يمكن لذوي الإعاقات استعمالها؟ هي الطريقة التي نحتاج لاتخاذها."

الكاتب

كيث كيركباتريك (Keith Kirkpatrick) مدير الشركة المساهمة المحدودة "4 ك للبحث والاستشارة" (4K Research & Consulting)، ومقرها في لينبروك (Lynbrook) نيويورك.

مراجع للاستزادة

- University of Washington Disabilities, Opportunities, Internetworking, and Technology (DO-IT) Center; <http://www.washington.edu/doit/>
- Morelli, T., Liebermann, L., Foley, J., and Folmer, E.; An Exergame to Improve Balance in Children who are Blind. Foundations of Digital Interactive Games, April 2014 http://fdg2014.org/papers/fdg2014_wip_13.pdf
- Eyes-Free Yoga: An Exergame Using Depth Cameras for Blind & Low Vision Exercise; https://youtu.be/cm_gJpJq70

¹¹ متلازمة أسبرجر (Asperger) هي إحدى اضطرابات طيف التوحد، ويظهر المصابون بهذا المرض صعوبات كبيرة في تفاعلهم الاجتماعي مع الآخرين. (المترجم)

قائمة المصطلحات

LIST OF TERMS

إعداد: د. نزار الحافظ¹

صفّ تجريدي	abstract class
تصميم جماليّ	aesthetic design
إجرائية رشيقة	agile process
تطوير رشيق للبرمجيات	agile software development
إجرائيات رشيقة لتطوير البرمجيات	agile software-development processes
واجهة برمجية للتطبيقات	Application Programming Interface (API)
حقيقة مزيّدة	augmented reality
قائمة الإتمام الذاتي	autocomplete menu
نافذة منبثقة للإتمام الذاتي	autocomplete popup
وسائل كشف العثرات	bug checkers
تسجيلات الدخول	check-ins
إعادة تنظيم بنية الرماز	code refactoring
إعادة استعمال الرماز	code reuse
قوائم استكمال الرماز	code-completion menus
أبعاد استعرافية	cognitive dimensions
مسح استعرافي سريع	cognitive walkthrough
خالي من التنازع	contention free
دراسات ميدانية في الاستعلام السياقي	contextual inquiry field studies
بُناة	constructors
دراسات في المدوّنات والمجموعات	corpus studies

¹ مدير بحوث في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا.

مواعيد نهائية	deadlines
إزالة التكرار	deduplication
تسيير بيئي	eco-routing
نظم بيئية	ecosystems
تقنية استخلاص	elicitation technique
بحث تجريبي	empirical research
معدل خطأ المساواة	Equal Error Rate (EER)
صف مصدر	exported class
صف مصنعي	factory class
طريقة مصنعية	factory method
نمط مصنعي	factory pattern
معدل قبول الخطأ	False Acceptance Rate (FAR)
معدل رفض الخطأ	False Rejection Rate (FRR)
موجات غابور	Gabor wavelets
ترميز جغرافي	geocoding
معطيات جيولوجية	geodata
معطيات جيوديزية	geodetic data
نظام معلومات جغرافية	Geographic Information System (GIS)
موقع جغرافي	geolocation
خصوصية جغرافية	geoprivacy
عبودية جغرافية	geo-slavery
مكاني-جغرافي	geospatial
مراقبة جغرافية	geosurveillance
وضع أمارات جغرافية	geotagging
أمارات جغرافية	geotags
منظومة سائل الملاحة الشمولية	GNSS (Global Navigation Satellite System)
منظومة تحديد المواقع الشمولية	GPS (Global Positioning System)
تقويم استكشافي	heuristic evaluation
تفاعل الإنسان مع الحاسوب	Human-Computer Interaction (HCI)

صفوف لامتغيرة	immutable classes
توثيق غير واف	inadequate documentation
بيئة تطوير متكاملة	Integrated Development Environment (IDE)
مجرد حفنة من الأقراص	JBOD (Just a Bunch Of Disks)
دراسات مستعملي المختبرات	laboratory user studies
خط نظر	Line Of Sight (LOS)
تحليل تمييزي خطي	Linear Discriminant Analysis (LDA)
أنماط ثنائية محلية	Local binary patterns (LBP)
تحديد الموضع	localization
واع للموقع	location aware
معتمد على الموقع	location-based
هجوم الرجل الذي في الوسط	man-in-the-middle attack
تصميم أدنوي	minimalist design
منتج عيوش بالحدود الدنيا	minimum-viable-product
مقاييس حيوية متعددة الأنماط	multimodal biometrics
صفوف متغيرة	mutable classes
تمشيط مستوي	plane-sweep
تحليل المكونات الرئيسية	Principal Components Analysis (PCA)
مقياس جودة	quality metric
تسيير	routing
نسبة الإشارة إلى الضجيج	Signal-to-Noise Ratio (SNR)
طقم تطوير البرمجيات	Software Development Kit (SDK)
أنماط برمجية	software patterns
حوسبة مكانية	spatial computing
مكاني-زمني	spatiotemporal
كدسة	stack
ذواكر من صنف التخزين	Storage Class Memories (SCM)

لُوحَات	tablets
مستعملون مستهدفون	target users
تقييم قائم على التفكير الجهوري	think-aloud evaluation
صوان التحويل بالبحث الجانبي	TLB (Translation Look-aside Buffer)
بيئة تنفيذ موثوقة	Trusted Execution Environment (TEE)
عقبات الاستعمالية	usability barriers
معلومات راجعة من المستعمل	user feedback
تطوير محوره المستعمل	user-centric development
ضبائط واجهة المستعمل	user-interface widgets
تكاملٌ وسيع نطاق	VLSI (very-large-scale integration)
معتدٌ على الوب	web-based

مطبوعات الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية

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