الثقافة المعلوماتية

مجلة دورية تصدرها الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية

السنة الثانية والعشرون – العدد الخامس والخمسون– آذار "مارس"/حزيران "يونية" 2018

ملف العدد: معالجة المعطيات الكبيرة

هل يتعيَّن عليك رفعُ المعطيات الكبيرة إلى السحابة أم شحنُها إليها؟

وحدات المعالجة البيانية تعيد تشكيل الحوسبة

تسريع البحث

الأبحاث الأخرى

المدن الذكية: مفاهيمها، بنياناتها، فرص أبحاثها

قيام الربوطات الاجتماعية

خروج التصوير التجسيمي إلى النور

البرمجيات المفتوحة المصدر لم تعد أمرًا اختياريًّا

مبدأ الدُفْعات الصغيرة

الألياف الضوئية آخذةٌ بالامتلاء

الثقافة المعلوماتية

مجلة دورية تصدرها الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية

السنة الثانية والعشرون – العدد الخامس والخمسون– آذار "مارس"/حزيران "يونية" 2018

رئيس التحرير:

الدكتور موفق دعبول

هيئة التحرير:

الدكتور سعد الله آغا القلعة

الدكتور سامح جزماتي

الدكتور نزار الحافظ

الدكتور راكان رزوق

الدكتور حسان ريشة

الدكتور عماد الصابوني

الدكتورة ندى غنيم

الدكتور منصور فرح

الدكتور محمد مراياتي

أمينة التحرير:

هيفاء باكير

للمراسلات:

الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية

مجلة الثقافة المعلوماتية

دمشق – البرامكة– خلف كلية الفنون الجميلة

ص.ب. 33492 – سورية

هاتف: 0394 215 11 963+

بريد إلكتروني: nzhafez@scs-net.org

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

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

عزيزي القارئ،

اخترنا لهذا العدد ثلاثة بحوث تحت العنوان **معالجة المعطيات الكبيرة**، هي: " *هل يتعيَّن عليك رفعُ المعطيات الكبيرة إلى السحابة أم شحنُها إليها؟* "، " *وحدات المعالجة البيانية تعيد تشكيل الحوسبة* "، " *تسريع البحث* ".

يتناول **البحث الأول** (هل يتعيَّن عليك رفعُ المعطيات الكبيرة إلى السحابة أم شحنُها إليها؟) بنظرةٍ تحليلية، طرائقَ مقارنةِ استراتيجياتِ شحنِ المعطيات الكبيرة الحجم ورفعِها، والعوامل المختلفة التي تعتمد عليها تلك الاستراتيجيات، والحالات التي يفضَّل فيها شحنُ المعطيات على رفعها، والعكس بالعكس.

يستعرض **البحث الثاني** (وحدات المعالجة البيانية تعيد تشكيل الحوسبة) أهميةَ وحدات المعالجة البيانية (GPUs) في تطبيقات الشبكات العصبونية العميقة وتعزيزها للتعلّم العميق ومهام التعلّم الآلي بالاعتماد على المعطيات الكبيرة، ويستكشف مساهمتها في تغيير مسار الحوسبة وتنوع التطبيقات التي أصبحت تستفيد من قدرتها العالية، ويبيّن ميزات وحدات GPU وتقدمها على وحدات المعالجة المركزية (CPUs) التقليدية، ويشير إلى عدد من التحديات الحوسبية التي تواجهها.

يناقش **البحث الثالث** (تسريع البحث) أهميةَ تقنيات التعلم الآلي المتزايدة لدى فيزيائيي الطاقة العالية، في تسريع أبحاثهم، الذي يشمل معالجة وتحليل الكم الهائل من المعطيات الذي يوِّلده مصادم الهدرونات الكبير، ويستعرض أيضًا أهمية علم المعطيات وآفاق فائدة التعلم الآلي لدى أولئك الفيزيائيين.

واخترنا أيضاً لهذا العدد ستة بحوث متنوعة المواضيع مثيرة للاهتمام هي على الترتيب: " *المدن الذكية: مفاهيمها، بنياناتها، فرص أبحاثها* "، " *قيام الربوطات الاجتماعية* "، " *خروج التصوير التجسيمي إلى النور* "، " *البرمجيات المفتوحة المصدر لم تعد أمراً اختيارًيا* "، " *مبدأ الدُفعات الصغيرة* "، " *الألياف الضوئية آخذةٌ بالامتلاء* ".

يُبَصِّر **أول هذه البحوث** (المدن الذكية: مفاهيمها، بنياناتها، فرص أبحاثها) بالفوائد التي تسعى المدينة الذكية لتوفيرها للمواطنين، والجوانب التي ينبغي دراستها لجني تلك الفوائد. يتناول البحث أيضًا مفاهيم أساسية وبنيانية في المدن الذكية، ويعرض بعض مشاريع المدينة الذكية الحديثة التي يجري تحقيقها في العالم، ويسلِّط الضوء على التحديات وفرص البحث المستقبلية والمخاطر التي أُدخلت مع نظم المعلومات في المدن.

يَدرس **ثانيها** (قيام الربوطات الاجتماعية) مسائلَ متعلقة بالربوطات الاجتماعية، تشمل مفهومها، مدى انتشارها في منصات وسائط التواصل الاجتماعي، مقاصدَها الحميدة والضارة، نماذجَها الشائعة، الأخطارَ المحتملةَ التي تجلبها، ما يمكنها فعله، تطورَها المتزايد، طرائقَ الكشف الآلي عنها.

يستقصي **ثالثها** (خروج التصوير التجسيمي إلى النور) مفهومَ التصوير التجسيمي ليميِّز معناه العلمي الصحيح من المعاني الزائفة المتداولة، ويدرس بعضَ تطبيقات التصوير التجسيمي الرقمي، مثل المجهر الرقمي التجسيمي واستعمالاته في التصوير البيولوجي، ورؤية الأغراض بالأبعاد الثلاثية وتحريكها بالزمن الحقيقي، على شاشات الحواسيب والهواتف الذكية.

يناقش **رابعها** (البرمجيات المفتوحة المصدر لم تعد أمرًا اختياريًّا) الأسباب وراء الاستعمال المتزايد للبرمجيات المفتوحة المصدر من قِبل الشركات الكبيرة، ضاربًا أمثلة تؤيد ذلك، ويستعرض بعضًا من السلبيات، مثل المخاطر الأمنية الكامنة وراء استعمال البرمجيات المفتوحة المصدر وكون البرمجيات المفتوحة المصدر ليست "مجانية" بالفعل.

يشرح **خامسها** (مبدأ الدُفْعات الصغيرة) مفهومَ الدُفْعات في تقانة المعلومات التي تقوم على إطلاقِ نسخٍ صغيرةٍ من المنتَجات البرمجية بدلًا من المنتجات الكاملة، وكيفيةَ تطبيق هذا المبدأ، والفوائد التي تنجم عنه.

أخيراً، يتحدث **سادسها** (الألياف الضوئية آخذةٌ بالامتلاء) عن طريقة الدمج باقتسام الأطوال الموجية لإرسال معلوماتٍ أكثر عبر الليف الضوئي، مركِّزًا الاهتمام في محدودية عدد البتات الكلي للمعلومات المرسلة.

هذا وسوف نؤجّل قائمة المصطلحات (إنكليزي – عربي) الواردة في مقالات هذا العدد إلى العدد القادم.

أخي القارئ،

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

وإلى اللقاء معك في العدد القادم.

رئيس التحرير

الدكتور موفق دعبول

المحتويات

ملف العدد: معالجة المعطيات الكبيرة

هل يتعيَّن عليك رفعُ المعطيات الكبيرة إلى السحابة أم شحنُها إليها؟ 9

وحدات المعالجة البيانية تعيد تشكيل الحوسبة 25

تسريع البحث 31

الأبحاث الأخرى

المدن الذكية: مفاهيمها، بنياناتها، فرص أبحاثها 35

قيام الربوطات الاجتماعية 55

خروج التصوير التجسيمي إلى النور 69

البرمجيات المفتوحة المصدر لم تعد أمرًا اختياريًّا 75

مبدأ الدُفْعات الصغيرة 81

الألياف الضوئية آخذةٌ بالامتلاء 91

هل يتعيَّن عليك رفعُ المعطيات الكبيرة إلى السحابة أم شحنُها إليها؟

SHOULD YOU UPLOAD OR SHIP BIG DATA TO THE CLOUD?*

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

الاعتقاداتُ السائدة لا تبقى صحيحةً دومًا.

من الاعتقادات المتعارَفة أنه يفضَّل، عندما يكون حجمُ المعطيات التي يُراد نقلُها إلى داخل السحابة من رتبة تيرابايت (terabyte) فما فوقها، شحنُ (shipping) هذه المعطيات إلى مزوِّد السحابة (cloud provider) على رفعها (uploading). تتناول هذه المقالة، بنظرةٍ تحليلية، طرائقَ مقارنة استراتيجيات الشحن والرفع، ومختلفَ العوامل التي تعتمد عليها تلك الاستراتيجيات، والأحوالَ التي يفضَّل فيها شحنُ المعطيات على رفعها، والعكس بالعكس. ومن الأهمية بمكان إجراء مثل هذا التحديد التحليلي، بالنظر إلى تزايُدِ وجود روابط شابكية (إنترنت) بسرعاتٍ من رتبة غيغابِت (gigabit)، إضافةً إلى التنامي الانفجاري في سرعات نقل المعطيات الذي تدعمه الإصداراتُ الجديدةُ من واجهات المَساوِق (drive interfaces) مثل واجهتَيْ SAS[1] وPCI Express[2]. وتكشِف هذه المقالةُ أن "الاعتقاداتِ السائدةَ" المذكورةَ آنفًا لا تصحُّ دائمًا، فثمة توصياتٌ عمليةٌ منطقيةٌ مدروسةٌ لرفع المعطيات في مقابل شحنها إلى السحابة.

وفيما يأتي بعضُ الفِكَر المفتاحية التي تراعى عند إمضاء الاختيار بين الرفع والشحن:

◄ قد يتطلَّب الرفعُ المباشِر لمعطياتٍ كبيرة الحجم إلى السحابة قدرًا غير مقبولٍ من الزمن، حتى على روابط إنترنت بسرعة 100 ميغابت في الثانية، بل أسرع. ومن الوسائل الملائمة للالتفاف على هذه المشكلة نَسْخُ المعطيات إلى شرائط خَزْن (storage tapes) أو مساوق صُلبة (hard drives)، ثم شحنها إلى مركز معطيات السحابة (cloud datacenter).

◄ على أنه مع تيسُّر روابط الإنترنت المعتمِدة على الألياف الضوئية اعتمادًا متزايدًا، سرعان ما يصبح شحنُ

**نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 7، تموز (يولية) 2016، الصفحات 44 – 51.*

[1] Statistical Analysis System (منظومة التحليل الإحصائي). (المترجم)

[2] Peripheral Component Interconnect Express (مسرى ترابط المكوِّنات الطَّرَفيَّة السريع). (المترجم)

المعطيات بواسطة المساوق أمرًا غير مستحَبٍّ لجهة تكلفته وسرعة نقله.

◄ لا يكون شحنُ المعطيات الكبيرة الحجم واقعيًّا إلا إذا أمكنك نسخُها إلى أداة الخَزْن (storage appliance) ومنها، عند سرعاتٍ عاليةٍ جدًّا، وكان تحت تصرُّفك أداةُ خَزْنٍ عاليةُ السَّعة وقابلةٌ للاستعمال مرارًا. وفي هذه الحالة قد تتفوَّق استراتيجيةُ الشحن بسهولةٍ حتى على رفع المعطيات المعتمِد على الألياف الضوئية من حيث السرعة، شريطة أن يتجاوز حجمُ المعطيات قيمةَ عتبةٍ معيَّنة.

◄ في حال قيمةٍ معيَّنةٍ لسرعة نقل المعطيات من مِسْوَقٍ إلى مِسْوَق (drive-to-drive)، يتنامى حجمُ المعطيات العَتَبِيُّ هذا (الذي بتجاوُزِه يغدو شحنُ المعطيات إلى السحابة أسرعَ من رفعها إليها) مع كلِّ زيادة ميغابت/ثانية في سرعة الرفع (upload) المتاحة. ويستمر هذا التنامي حتى يصل إلى سرعةِ رفعٍ عتبيَّةٍ معيَّنة؛ فإذا أتاح مزوِّدُ خدمات الإنترنت (ISP: Internet Service Provider) الذي تستعمله سرعةَ رفعٍ تتجاوز هذه السرعةَ العَتَبِيَّةَ أو تساويها، كان رفعُ المعطيات أسرعَ من شحنها إلى السحابة دومًا، مهما كان حجمُ تلك المعطيات.

هَبْ أنك تزمع رفعَ مجموعتِك الفيديوية إلى داخل سحابةٍ عمومية (public cloud)، أو أن شركتك ترغب في تهجيرِ معطياتها من مركزِ معطياتٍ خاصٍّ إلى سحابةٍ عمومية، أو نقلِ تلك المعطيات من مركز معطياتٍ إلى آخر. هنا ليس من المهم كثيرًا هويةُ ملامحك (profile). وبالنظر إلى التزايد الانفجاري في كمِّ المعلومات الرقمية التي يتداولها الأفرادُ والمؤسساتُ على السواء، فإن استشرافَ نقل معطياتٍ كبيرة الحجم من مكانٍ إلى آخر على الشابكة (الإنترنت) هو أقرب ممّا قد تتصوَّر.

ولتوضيح ذلك، لنفترض أن لديك 1 تيرابايت من معطيات الأعمال (business data) تودُّ تهجيرها إلى وسيطة خَزْنٍ سحابية (cloud storage) من مركز المعطيات الذاتيِّ الإدارة (self-managed) الخاص بك. إنك بذلك تلتزم بخطَّة عمل مع مزوِّد خدمات الإنترنت الذي يضمن لك سرعةَ رفعٍ تبلغ 50 ميغابت/ثانية، وسرعةَ تنزيل (download) تفوقها عشرةَ أضعاف. وكلُّ ما يلزمك فعلُه هو إعلان نافذةِ زمنِ توقُّفٍ قصير للنظام (system-downtime window) والبدء بنقل معطياتك إلى السحابة. صحيح؟

ليس تمامًا.

في حالة المبتدئين، ستكون بحاجةٍ إلى مدة 47 ساعةً طوالاً لإتمام عملية رفع 1 تيرابايت من المعطيات بسرعة 50 ميغابت/ثانية – هذا مع افتراض أن ارتباطك لن ينقطع أو يتباطأ.

وإذا رقَّيتَ المحتوى إلى خطة رفعٍ أسرع – 100 ميغابت/ثانية مثلاً – فيمكنك إتمام العملية في غضون يوم. ولكن ماذا لو كان عليك رفع محتوًى قدره 2 تيرابايت أو 4 تيرابايت أو 10 تيرابايت؟ سيهولك إذا علمتَ أنك بحاجةٍ إلى 233 ساعة لنقل 10 تيرابايت من المحتوى حتى بمعدل نقل مستديم قدره 100 ميغابت/ثا!

انظر كيف تتلاشى الممارساتُ التقليديةُ عند التعامل مع وحدات معلومات من رتبة تيرابايت وبيتابايت؛ فمن الضروري النظر في طرائق بديلةٍ غير واضحة للتعامل مع معطياتٍ بهذا الحجم.

وهاك اثنين من هذه البدائل المتاحة اليوم لنقل معطياتٍ كبيرة الحجم.

◄ انسخِ المعطياتِ محلِّيًّا إلى أداة خَزْنٍ من قبيل شريط LTO [1] أو مِسْوَق القرص الصُّلب (hard-disk HDD)

[1] linear tape open (شريط خطِّي مفتوح المقاييس). (المترجم)

(drive أو مِسْوَق الحالة الصُّلبة (solid-state drive) (SSD)، واشحنها إلى مزوِّد السحابة. وللسهولة سندعو هذه الاستراتيجية بالصيغة المختصرة: «اشحنها!»

◄ أَجْرِ عمليةَ نقلٍ للمحتوى من سحابةٍ إلى سحابة على الإنترنت باستعمال واجهاتٍ برمجيةٍ للتطبيقات (application programming interfaces) (APIs) تتيحها المزوِّدات السحابية للمَصْدَر (source) والوجهة (destination) معًا.[6] ولندعُ هذه الاستراتيجية اختصارًا: «انقلها!»

ترمي المقالةُ التي بين أيدينا إلى مقارنة هذه البدائل، من حيث الزمنُ والتكلفة، بتقنية الخط القاعدي (baseline) لرفع المعطيات إلى مخدِّم السحابة (cloud server) باستعمال رابط إنترنت. تسمَّى تقنيةُ الخط القاعدي هذه «ارفعها!»، اختصارًا.

مشهدٌ واقعي

افترِضْ، على سبيل التمثيل المحض، أنك تريد رفع المحتوى الذي لديك إلى سحابةِ خدمةِ الخَزْنِ البسيط لشركة أمازون (Simple Storage Service) (S3)، وبالتحديد إلى مركز معطياتها في ولاية أوريغون الأمريكية،[2] علمًا بأن هذه يمكن أن تمثِّلها أيُّما خدمة خَزْنٍ سحابيٍّ أخرى تتيحها أطرافٌ مشارِكةٌ[9] في هذا المجال، منها (على سبيل المثال لا الحصر): Microsoft وGoogle وRackspace وIBM. ولنفترض أيضًا أن مركز معطياتك الخاص يقع في مدينة كانزاس (Kansas) بولاية ميزوري، التي يتفق أن يكون بُعْدُها الجغرافي وسطًا تقريبًا عن مراكز معطيات أمازون[2]، الواقعة شرقِيَّ الولايات المتحدة وغربيَّها.

يُذكر أن مدينة كانزاس هي أيضًا إحدى الأماكن القليلة في الولايات المتحدة، التي تتوفَّر فيها خدمةُ الألياف الضوئية بسرعاتٍ من رتبة غيغابت. وفي هذه الحالة تتاح الخدمةُ عن طريق مزوِّد خدمات الإنترنت المسمّى غوغل فايبر (Google Fiber)[7].

وبدءًا من شهر تشرين الثاني (نوفمبر) 2015، يتيح المزوِّد غوغل فايبر واحدةً من أعلى السرعات التي يمكن أن يتيحها مزوِّدُ خدمات إنترنت في الولايات المتحدة: وهي 1 غيغابت في الثانية، للرفع والتنزيل على حدٍّ سواء[13]. وإلى جانب ما تتَّصف به خدمةُ الإنترنت المعتمدةُ على الألياف الضوئية من إمكان النفاذ إلى خط إثرنت مؤْجَر (leased line) من رتبة غيغابت[11]، فإنها في الحقيقة طريقةٌ سريعةٌ جدًّا لدفع البتّات خلال قنوات الإنترنت في أيِّ مكانٍ من العالم.

وبافتراض وجود سرعة رفع وسطية مستديمة تبلغ 800 ميغابت/ثانية على رابطٍ ليفيٍّ كهذا[13] (أي 80% من سرعته النظرية القصوى المعلَنة، البالغة 1 غيغابت/ثا)، فإن 1 تيرابايت من المعطيات سيتطلَّب نحو ثلاث ساعات لرفعه من مدينة كانزاس إلى وسيطة خدمة الخَزْن البسيط (S3) في أوريغون. وهذا في واقع الأمر سريعٌ جدًّا (إذا افترضنا طبعًا أن رابطك لا يتباطأ أبدًا). أضف إلى ذلك أنه كلما تزايدَ حجمُ المعطيات تزايدَ تبعًا لذلك زمنُ الرفع بالنسبة نفسها: فإذا كان رفع 20 تيرابايت من المعطيات يتطلب 2.5 يومًا، فإن رفع 50 تيرابايت يتطلب قرابة أسبوع، ورفع 100 تيرابايت يتطلب ضعفَيْ ذلك الزمن. وفي المقابل يحتاج رفعُ نصف بيتابايت (petabyte) من المعطيات إلى شهرين، في حين يستلزم منك رفعُ پيتابايت واحد بسرعة 800 ميغابت/ثا أربعةَ أشهر من العمل المتواصل.

إذن حان الوقت لدارسة حلٍّ بديل.

اشحنها!

يتمثل ذلك الخيار في نسخ المعطيات إلى أداة خَزْن، وشحن الأداة إلى مركز المعطيات، حيث يُنسَخ المحتوى إلى خزنٍ سحابيّ. تلك هي استراتيجية خيار «اشحنها!» ونتساءل: ما الظروف التي تجعله خيارًا عمليًّا ناجحًا لجهة رفع المعطيات مباشرةً إلى داخل السحابة؟

الاعتبارات الرياضية لشحن المعطيات. لدى قراءة المعطيات من مِسْوَق فإنها تنتقل من عتاد المِسوَق المادّي (صفيحة تخزين مِسْوَق القرص الصُّلب (HDD platter) مثلاً) إلى متحكِّم القرص المَتْني (on-board disk controller) (أي مجموعة الدارات الإلكترونية على المسوق). ومن هناك تنتقل المعطياتُ إلى المتحكِّم المضيف (host controller) (المعروف باسم: موائمة الربط بمسرى المضيف (host bus adapter)، والذي يسمّى أيضًا: بطاقة الواجهة (interface card))، وأخيرًا إلى النظام المضيف (مثلاً: الحاسوب الذي يرتبط به المسوَقُ بواجهة). وعند كتابة المعطيات إلى المسوَق فإنها تتَّبع الطريقَ العكسي.

ولدى نسخ المعطيات من مخدِّمٍ إلى أداة خَزْن (أو العكس)، يتعيَّن أن تنتقل المعطياتُ خلال طبقةٍ مادّيةٍ إضافيةٍ من قبيل شبكة إثرنت أو رابط USB (مسرى تسلسلي عميم) متوضِّعٍ بين المخدِّم وأداة الخَزْن.

في الشكل 1 مخطَّطٌ مبسَّطٌ لجريان المعطيات عند نسخها إلى أداة خَزْن، علمًا بأن اتجاه جريان المعطيات، كما يبدو في الشكل، يُعكَس (من حيث مفهومُه) لدى نسخ المعطيات من أداة الخزن إلى مخدِّم السحابة.

يُشار إلى أن أداةَ الخَزْن، في أحوالٍ كثيرة، قد لا تتعدّى أن تكون مِسْوَقًا صُلبًا واحدًا ليس غير، وعندئذٍ يتَّخِذ جريان المعطيات من المخدِّم إلى هذا المِسْوَق مسارَه بصورةٍ أساسية على امتداد الخط المنقَّط في الشكل.

وفي ضوء جريان المعطيات هذا، فإن ثمة طريقةً بسيطةً للتعبير عن الزمن اللازم لنقل المعطيات إلى السحابة باستعمال استراتيجية «اشحنها!» تمثِّلها المعادلة 1:

$$(\text{Transfer Time})_{\text{hours}} = \frac{\text{V}_{\text{content}}}{3600 \times Speed_{copyIn}} + \text{T}_{\text{transit}} + \frac{\text{V}_{\text{content}}}{3600 \times \text{Speed}_{\text{copyOut}}} + \text{T}_{\text{overhead}}$$

$$\ldots (\text{Eq } 1)$$

حيث: $\text{V}_{\text{content}}$ يمثِّل حجمَ المعطيات التي يتعيَّن نقلُها، مقيسًا بالميغابايت (MB).

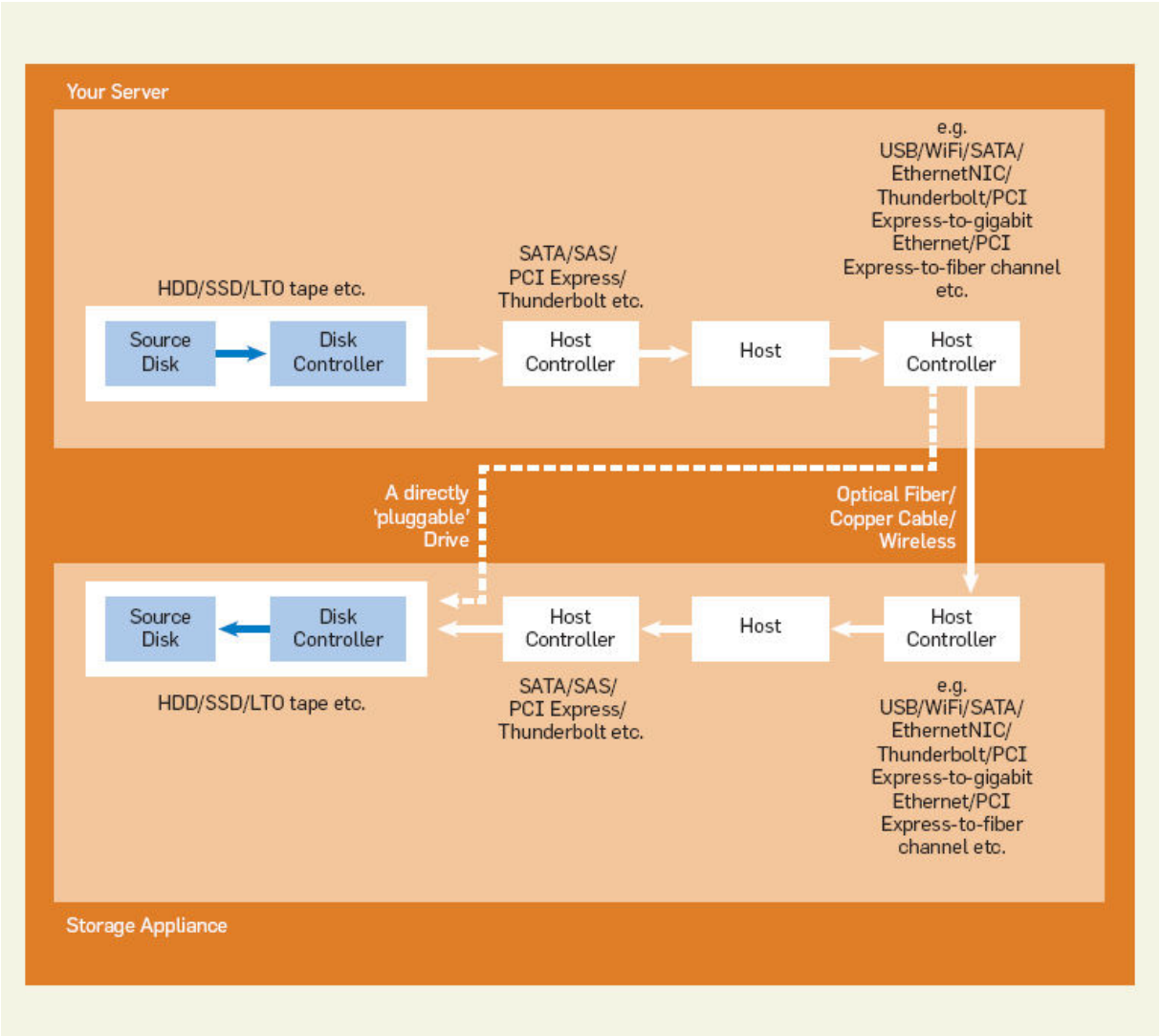
ويمثِّل $\text{Speed}_{\text{copyIn}}$ معدَّلَ السرعة *المستديم* مقيسًا بالميغابايت/ثا (MBps) الذي نُسِخَت به المعطياتُ من المساوِق المصدرية (source drives) إلى أداة الخَزْن. وتمثِّل هذه السرعةُ في الحقيقة الحدَّ الأدنى لسرعاتٍ ثلاث: سرعةِ المتحكِّم (controller) في قراءة المعطيات من المِسْوَق المَصْدَري ونقلِها إلى الحاسوب المضيف الذي تربطه به واجهة؛ وسرعةِ تلقِّي متحكِّم أداة الخزن للمعطيات من مضيفه ذي الواجهة وكتابتِها في أداة الخزن؛ وسرعةِ نقل المعطيات فيما بين المضيفَيْن. على سبيل المثال، إذا كان المضيفان مرتبطَيْن بإثرنت من رتبة غيغابت أو برابطٍ للقناة الليفية (Fibre Channel)، بحيث تكون أداةُ الخزن قادرةً على كتابة المعطيات بسرعة 600 ميغابايت/ثا. أما إذا كان المسوَقُ المصدريُّ ومتحكِّمه قادرَيْن على إطلاق معطياتٍ بسرعة 20 ميغابايت/ثا، فإن سرعة النسخ الفعّالة ربما تصل إلى 20 ميغابايت/ثا

على الأكثر.

وبالمثل، فإن $Speed_{copyOut}$ هو معدَّل السرعة *المستديم* – مقيسًا بالميغابايت/ثا (MBps)– الذي نُسِخَت به المعطياتُ من أداة الخَزْن وكُتِبَت داخل خزْن السحابة.

ويمثِّل $T_{transit}$ زمنَ عبور الشحنة بوساطة خدمة «الساعي» (courier service) من المصدر إلى الوجهة، مقيسًا بالساعات.

أما $T_{overhead}$ فهو زمن الحِمْل المضاف (overhead time) مقيسًا بالساعات. وقد يتضمَّن ذلك الزمنَ اللازم لشراء تجهيزات الخَزْن (storage devices) (كالشرائط مثلاً)، وإعدادِها لنقل المعطيات، ورَزْمِ الشحنة وإنشائها، ونقلها إلى مقرّ الشاحن. وعند جهة التسلُّم، فإن ذلك يشمل الزمنَ اللازم لمعالجةِ الشحنة الواردة من الجهة الشاحنة، وخزنِها مؤقَّتًا، وفتحِها، ثم إعدادِها لنقل المعطيات.



الشكل 1. جريان المعطيات لدى نَسْخها إلى أداة خَزْن.

استعمال المعدَّلات المستديمة لسرعة نقل المعطيات. لتجهيزات الخَزْن أنواعٌ عديدةٌ منها: مِسْوَق القرص الصُّلب (HDD)، وقرص الحالة الصُّلبة (SSD)، والشريط المغنطيسي الخطِّي المفتوح (LTO). ويتوفَّر كلُّ نوعٍ منها بتشكيلاتٍ مختلفةٍ من مثل: الصفيفة المكرَّرة للأقراص المستقلَّة (RAID: redundant array of independent disks) من المساوق HDD أو الأقراص SSD، أو مجموعةٍ مؤتلفةٍ من هذه المساوق والأقراص يُستعمل فيها قرصُ SSD (أو أكثر) خابيةَ قراءةٍ أماميةٍ (read-ahead cache) سريعة لصفيفة المساوق HDD. كذلك ثمة واجهاتٌ كثيرةٌ مختلفةٌ لنقل المعطيات، كواجهة النظام الحاسوبي الصغير (SCSI: small computer system interface)، وواجهة الربط التسلسلي للتقانة المتقدِّمة (SATA: Serial Advanced Technology Attachment)، وواجهة النظام الحاسوبي الصغير التسلسلي المُرفَق (SAS: Serial Attached SCSI)، والمسرى التسلسلي العميم (USB: Universal Serial Bus)، ومسرى ترابُط المكوِّنات الطرفية السريع (PCI Express: Peripheral Component Interconnect Express)، والواجهة [المعروفة باسمها التجاري] Thunderbolt (الصاعقة)، وغيرها. وتجدر الإشارة إلى أن كلاًّ من هذه الواجهات يتقبَّل سرعةً نظريةً قصوى مختلفةً لنقل المعطيات.

يَعْرِض الشكل 2 سرعاتِ نقل المعطيات، مدعَّمةً بإصدارٍ حديثٍ لبعض واجهات التحكُّم (controller interfaces) هذه.

وتعتمد سرعةُ النَّسْخِ الفعّالةُ للمعطيات من أداة خَزْنٍ وإليها (copy-in/copy-out) على عددٍ من العوامل:

◄ *نوع المِسْوَق.* فأقراص الحالة الصُّلبة (SSDs)، مثلاً، هي في العادة أسرعُ من مساوِق الأقراص الصُّلبة (HDDs)، وذلك يعود –جزئيًّا– إلى غياب أيِّ أجزاءٍ متحرِّكة؛ ويلاحَظ أن مساوق HDD التي عددُ دوراتها في الدقيقة (RPM: revolutions per minute) أعلى تُظْهِر أزمنةَ نِشْدانٍ (seek times)[1] أقلَّ ممّا تُظهِره المساوقُ التي عددُ دوراتها في الدقيقة (RPM) أدنى. وبالمثل، فإن المساوقَ ذات الكثافة المساحيَّة (areal density) (بتّات لكل مساحة سطح) العليا يمكن أن تؤدِّي إلى معدَّلاتٍ أعلى في نقل المعطيات.

◄ *تشكيلة المِسْوَق.* تتأثَّر السرعاتُ، على سبيل المثال، إذا كان المسوق ذا قرصٍ وحيد في مقابل صفيفةٍ من الأقراص المكرَّرة، وكذلك بوجود خوابي القراءة الأمامية على القرص أو غيابها.

نوع الواجهة	سرعة نقل المعطيات (غيغابت/ثا)
SATA Revision 3	6[17]
SAS-3	12[10]
SuperSpeed USB (USB 3.0)	10[20]
PCI Express version 4	15.754 (مسرب معطيات واحد), to 252.064 (16 مسرب معطيات)[14]
Thunderbolt 2	20[1]

الشكل 2. سرعات نقل معطيات تتقبَّلها مختلف الواجهات.

◄ *موضع المعطيات على المِسْوَق*. إذا كان المِسْوَقُ متجزِّئًا (fragmented) (وهذا ينطبق بوجهٍ خاصٍّ على مساوق الأقراص الصُّلبة (HDDs))، فلربما احتاج الأمرُ زمنًا أطول لقراءة معطياتٍ منه وكتابة معطياتٍ إليه. ومثل ذلك يصحُّ على صفائح تخزين مساوق الأقراص الصُّلبة (HDD platters)، إذ تُقرأ المعطياتُ المتوضِّعةُ بالقرب من محيط صفيحة التخزين أسرعَ من تلك الواقعةِ قربَ محور الدوران. ذلك لأن السرعةَ الخطِّيَّة للصفيحة بالقرب من المحيط أعلى بكثيرٍ منها بالقرب من المحور.

◄ *نوع واجهة نقل المعطيات*. ثمة تباين في السرعة بين الواجهة SAS-3 مقابل الواجهة SATA Revision 3، على سبيل المثال.

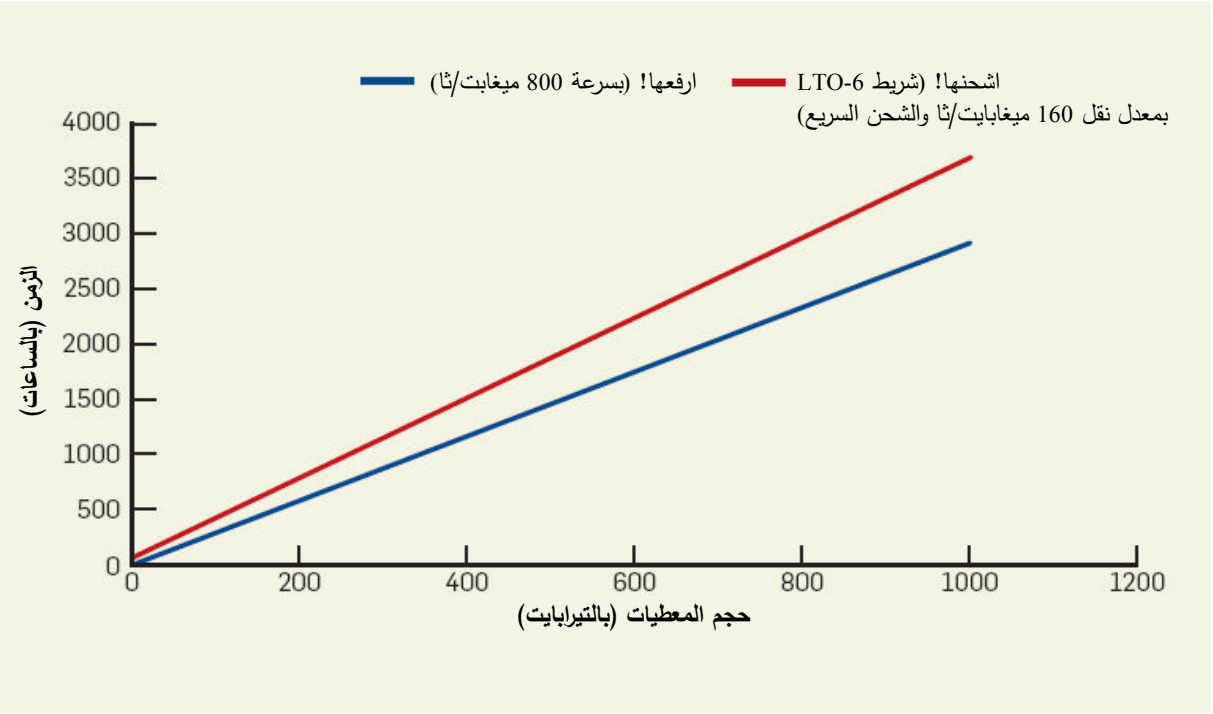
◄ *الضغط والتعمية*. إن ضغطَ المعطيات و/أو تعميتَها عند المصدر، وفكَّ ضغطها و/أو فكَّ تعميتها عند الوجهة أمرٌ حريٌّ بأن يخفض من فعالية معدَّل (سرعة) نقل تلك المعطيات.

وبسببٍ من هذه العوامل، يرجَّح أن يكون معدَّلُ النسخ *المستديم* (من أو إلى) مختلفًا جدًّا (أقلَّ بكثيرٍ عادةً) عن معدَّل القراءة/الكتابة الانفجارية لمِسْوَق المصدر (source drive) وواجهته، أو لمِسْوَق الوجهة (destination drive) وواجهة متحكِّمه.

فلنُدخِل الآن بعضَ الأرقام على المعادلة 1، آخذين هذه الاعتبارات في حسباننا، ومتَّبعين النسقَ الآتي: عَزَمْتَ على استعمال شرائط LTO-6 لنسخ معطياتك، وأنت تعلم أن خرطوشة (cartridge) شريط LTO-6 تستطيع خَزْنَ 2.5 تيرابايت من المعطيات بحالةٍ غير مضغوطة[18]، وأن هذا الشريط يتقبَّل سرعةَ قراءة/كتابة غير مضغوطة للمعطيات تبلغ 160 ميغابت/ثا[19]. لننشئ افتراضًا مهمًّا ومبسِّطًا مؤدّاه أن بإمكان المِسْوَق المصدري ووسيطة الخَزْن السحابي للوجهة (destination cloud storage) معًا أن يجاريا سرعةَ نقل المعطيات (البالغة 160 ميغابت/ثا) لمِسْوَق الشريط LTO-6 (أي إن: $Speed_{copyIn} = Speed_{copyOut} = 160$ ميغابت/ثا). إنك تفضِّل الأخذَ بخيار الشحن السريع الذي تحتاج فيه جهةُ الشحن إلى 16 ساعة لإيصال الشحنة ($T_{transit} = 16$ ساعة). أخيرًا، لنُدخِل في اعتبارنا 48 ساعةً تمثِّل زمنَ الحِمْل المضاف ($T_{overhead} = 48$ ساعة).

إن إدخال هذه القيم في المعادلة 1 وتحديد زمن نقل المعطيات في مقابل حجم المعطيات باستعمال استراتيجية «اشحنها!» يولِّد الخطَّ الأحمر الكستنائي في الشكل 3. وعلى سبيل المقارنة، فإن اللون الأزرق يشير إلى زمن نقل المعطيات لاستراتيجية «ارفعها!» باستعمال رابط إنترنت معتمِدٍ على الألياف يعمل بمعدَّل رفعٍ مستديم قدره 800 ميغابت/ثا. ويُظهِر الشكلُ تناميًا نسبيًّا في زمن نقل المعطيات بين رفعها بسرعة 800 ميغابت/ثا، مقابل نسخها إلى شرائط LTO-6 وشحنها شحنًا سريعًا.

وتُظهِر المعادلة 1 أن زمنًا لا يُستهان به يُستهلَك – في استراتيجية «اشحنها!» – لنسخ المعطيات إلى أداة الخَزْن ومنها. ويلاحَظ أن زمنَ الشحن قصيرٌ نسبيًّا ومطَّرد (حتى لو كان الشحن دُوَليًّا)، في حين يتزايد زمنُ النسخ بين مِسْوَقين (drive-to-drive copy-in/copy-out) إلى قيمةٍ كبيرةٍ جدًّا مع تنامي حجم المحتوى المنقول. واستنادًا إلى هذه الحقيقة، فإن من الصعب منافَسةَ ربطٍ معتمِدٍ على الألياف في سرعة نقل معطياتٍ خام (raw data)، ولاسيما عندما تتضمَّن الاستراتيجيةُ المنافِسةُ نَسْخًا (إلى/من) باستعمال مِسْوَق شريط LTO-6 يعمل بسرعة 160 ميغابت/ثا.

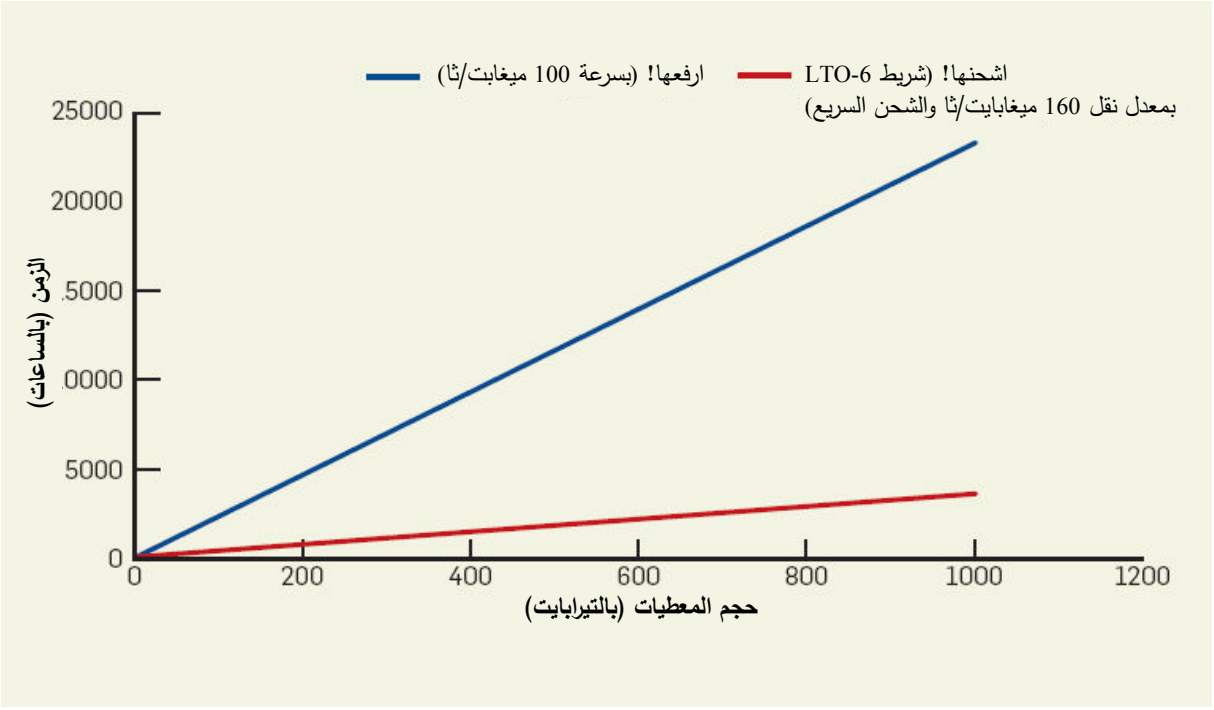


الشكل 3. تزايدُ زمن نقل المعطيات، 800 ميغابت/ثا مقابل الشرائط.

بيد أنه، في أحيانٍ كثيرة، قد لا يحالفك التوفيق في النفاذ إلى وصلة رفع (upload link) بسرعة 1 غيغابت/ثا؛ ففي معظم دول العالم ليس بإمكانك أن تَحصُل على أكثر من 100 ميغابت/ثا، إن أنت حصَّلتها، ونادرًا ما يحصل ذلك على أساسٍ مستديم. فمثلاً، عند السرعة 100 ميغابت/ثا يكون لاستراتيجية «اشحنها!» مزيَّةٌ واضحة في حال الحجوم الضخمة للمعطيات، كما في الشكل 4، الذي يُبدي تنامياً نسبيًّا في زمن نقل المعطيات بين الرفع بسرعة 100 ميغابت/ثا مقابل نسخها إلى شرائط LTO-6 وشحنها شحنًا سريعًا.

يمثِّل الخطُّ الأحمر الكستنائي في الشكل 4 زمنَ النقل لاستراتيجية «اشحنها!» باستعمال شرائط LTO-6، في حين يمثِّل الخطُّ الأزرق، هذه المرة، زمنَ النقل لاستراتيجية «ارفعها!» باستعمال وصلة رفع بسرعة 100 ميغابت/ثا. ويُذكر أن شحن المعطيات بوساطة شرائط LTO-6 وسيلةٌ أسرع لإيصال المعطيات إلى السحابة من رفعها بسرعة 100 ميغابت/ثا لحجوم معطيات منخفضة مثل 4 تيرابايت.

لكن ماذا لو توفَّرت لك وسيلةٌ أسرعُ بكثيرٍ لنَسْخ المعطيات إلى أداة الخَزْن ومنها؟ كيف يمكنها أن تنافِس وصلةَ إنترنت معتمدةً على الألياف، تعمل بسرعة 800 ميغابت/ثا؟ ومع بقاء سائر قيم الوسيط (parameter) الأخرى دون تغيير، وبافتراض سرعة النسْخ بين مِسْوَقين تبلغ 240 ميغابت/ثا (أي أسرع بنسبة 50% مما تستطيع شرائط LTO-6 تقبُّلَه)، فإن نقطة الانقلاب (أي حجم المحتوى الذي تصبح عنده استراتيجيةُ «اشحنها!» أسرعَ من استراتيجية «ارفعها!» بسرعة 800 ميغابت/ثا) تكون قريبةً من 132 تيرابايت. أما إذا كانت سرعةُ النسخ بين مِسْوَقين أكبر، أي 320 ميغابت/ثا، فإن نقطةَ الانقلاب تهبط بشدَّةٍ إلى 59 تيرابايت. وهذا يعني أنه إذا وصل حجمُ المحتوى إلى 59 تيرابايت فأكثر، كان شحنُ المعطيات إلى مزوِّد السحابة أسرعَ من رفعها باستعمال مزوِّد خدمات إنترنت (ISP) معتمِدٍ على الألياف، يعمل بسرعة



الشكل 4. تزايدُ زمن نقل المعطيات، 100 ميغابت/ثا مقابل الشرائط.

800 ميغابت/ثا.

يبيِّن الشكل 5 التزايدَ النسبيَّ في زمن نقل المعطيات، بين رَفْعِها بسرعة 800 ميغابت/ثا مقابل نَسْخِها بمعدَّل نقل 320 ميغابت/ثا وشحنها شحنًا سريعًا.

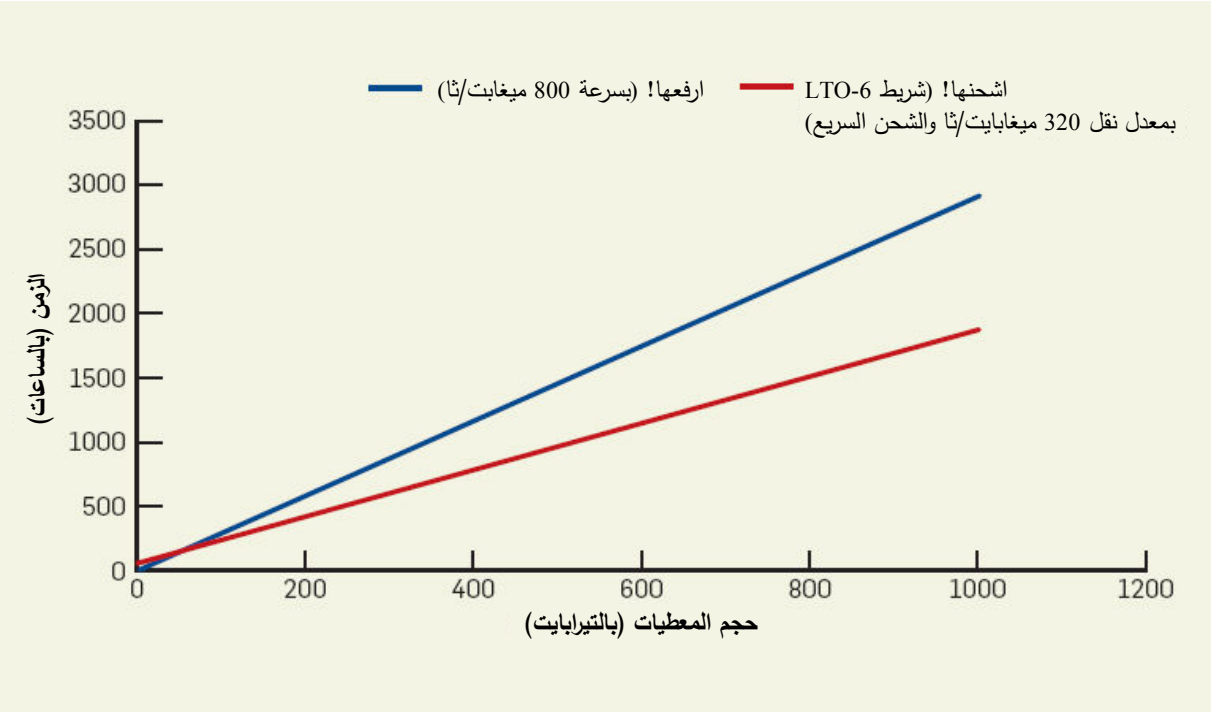
ومن شأن هذا التحليل أن يطرح تساؤلَيْن مهمَّيْن:

◄ إذا كنتَ على علمٍ بحجم المعطيات التي تودُّ رفعَها، فما هي سرعةُ الرفع المستديمة الدنيا التي يتعيَّن على مزوِّد خدمات الإنترنت الذي تستعمله إتاحتها، والتي دونها يَحسُن بك شحنُ المعطيات من طريق ساعي الشحن السريع؟

◄ وإذا آنستَ من مزوِّدك (ISP) سرعةَ رفعٍ مستديمةً معيَّنة، فما حجم المعطيات الذي بِتَجاوُزِه يكون شحنُ المعطيات طريقةً أسرع لإيصالها إلى السحابة من رفعها إليها؟

في المعادلة 1 ما يُعِيْن على الإجابة عن هذين السؤالين، وذلك بتقدير الزمن اللازم لشحن معطياتك إلى مركز المعطيات بالساعات $(\text{Transfer Time})_{\text{hours}}$. تخيَّلِ الآن، وعلى التوازي، رفعَ حجم المعطيات نفسه $(V_{\text{content}}$ Megabytes) بواسطة وصلةٍ شبكية (network link). والسؤال هنا هو: ما سرعة الرفع المستديمة الدنيا اللازمة لإتمام رفع كل شيءٍ إلى مركز المعطيات في ذات الزمن الذي يستغرقه شحنُها إليه؟ ومن ثَمَّ، ما عليك إلا أن تعبِّر عن الطرف الأيسر للمعادلة 1 $((\text{Transfer Time})_{\text{hours}})$ بدلالة حجمِ المعطيات $(V_{\text{content}}$ Megabytes)، وسرعةِ الربط الدنيا اللازمة بالإنترنت $(\text{Speed}_{\text{upload}}$ Mbps). وبتعبيرٍ آخر: $(\text{Transfer Time})_{\text{hours}} = 8 \times V_{\text{content}}/\text{Speed}_{\text{upload}}$.

أمَّا وقد أنجزنا عمليةَ الإبدال هذه، فلنتابعْ وفق النسق الآتي: نقل معطيات معتمد على شرائط LTO-6 بسرعة 160 ميغابايت/ثا، والشحن السريع في غضون 16 ساعة، و 48 ساعة من زمن الحمل المضاف. ولنفترضْ أيضًا أن ثمة 1



الشكل 5. تزايدُ زمن نقل المعطيات، 800 ميغابت/ثا مقابل 320 ميغابايت/ثا.

تيرابايت من المعطيات يتعيَّن نقلُها إلى السحابة.

تُظهِر عمليةُ الإبدال المذكورةُ توًّا أنه ما لم يوفِّر مزوِّدُ خدمات الإنترنت سرعةَ رفع مستديمةً ($Speed_{upload}$) لا تقلُّ عن 34.45 ميغابت/ثا، فإن بالإمكان نقل المعطيات بصورةٍ أسرع باستعمال استراتيجية «اشحنها!» التي تتضمَّن نقلاً للمعطيات معتمدًا على شرائط LTO-6 تعمل بسرعة 160 ميغابايت/ثا، وشحنًا ومعالجةً لزمن الحِمْل المضاف المتمثِّل بـ 64 ساعة.

يُبرِز الشكل 6 العلاقةَ بين حجمِ المعطيات المراد نقلُها (مقيسًا بالتيرابايت) وسرعةِ الرفع الدنيا المستديمة للمزوِّد ISP (مقيسةً بالميغابت/ثا) اللازمة لجعل سرعة رفع المعطيات مساويةً سرعةَ شحنها إلى مركز المعطيات. وفي حالة الحجوم الكبيرة جدًّا للمعطيات، تغدو سرعةُ الرفع العتبيَّةُ (threshold upload speed) للمزوِّد ISP أقلَّ حساسيةً لحجم المعطيات، وأكثرَ حساسيةً لسرعات النَّسْخ بين مِسْوَقين، التي تتنافس معها.

لنحاول الآن الإجابةَ عن السؤال الثاني. افترضْ هذه المرة أن $Speed_{upload}$ (مقيسةً بالميغابت/ثا) هي سرعةُ الرفع المستديمةُ القصوى التي يستطيع المزوِّد ISP إتاحتَها. ما هو حجمُ المعطيات الأقصى الذي بِتَجاوُزِه يكون شحنُ المعطيات إلى مركز المعطيات هو أسرع الوسائل؟ تذكَّرْ مجدَّدًا أن المعادلة 1 تساعدك على تقدير الزمن اللازم (Transfer Time) لشحن المعطيات إلى مركز المعطيات في حالة حجم معطياتٍ معلومٍ مقيسٍ بالميغابايت ($V_{content}$ MB)، وكذلك سرعات النَّسخ من مِسْوَقٍ إلى مِسْوَق. ولو كنتَ، بدلاً من ذلك، بصدد رفع الحجم $V_{content}$ MB عند السرعة $Speed_{upload}$ Mbps على وصلةٍ شبكية، لكنتَ بحاجةٍ إلى زمنٍ قدره $8 \times V_{content}/Speed_{upload}$ ساعة. وعند قيمةٍ عَتَبيَّةٍ معيَّنة للحجم $V_{content}$ يصبح زمنا النقل (الشحن مقابل الرفع) هذان متساويَيْن. وبناءً على ذلك، يمكن إعادة ترتيب المعادلة 1 كي تعبِّر عن حجم

المعطيات العَتَبيِّ هذا، كما توضِّح المعادلة 2:

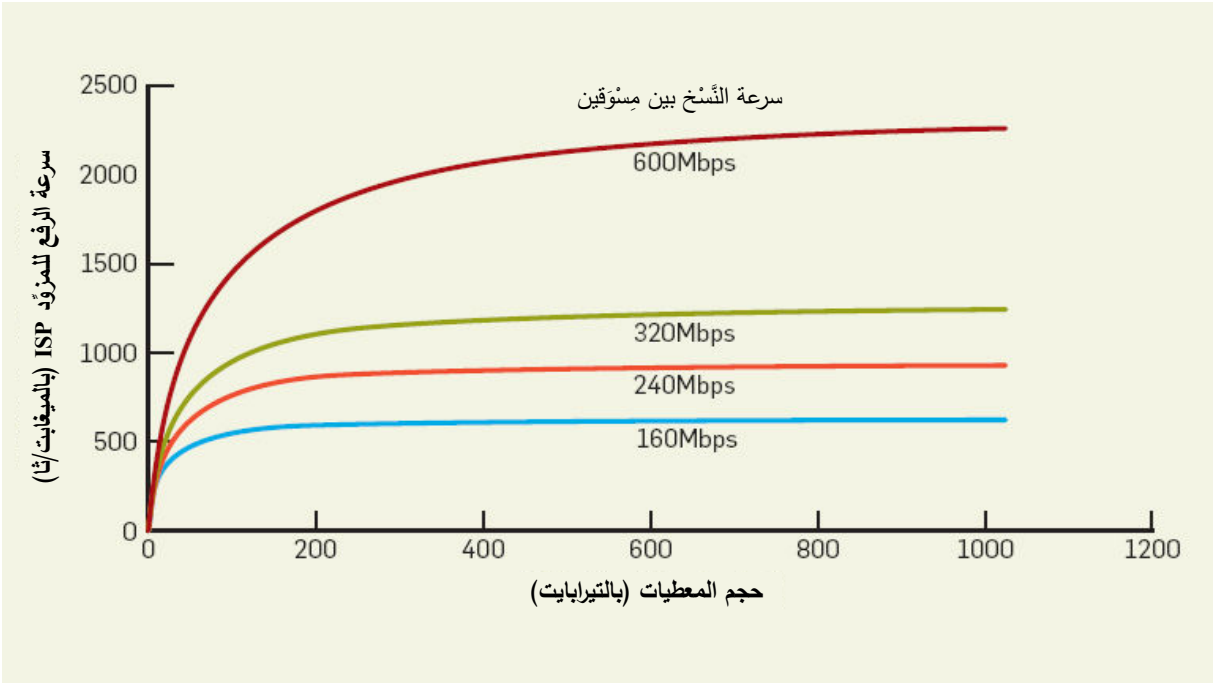
$$V_{content} = \frac{3600 \times (\frac{Speed_{upload}}{8}) \times T_{ship}}{1 - (\frac{Speed_{upload}}{8}) \times \Delta T_{data\ copy}} \quad \dots (Eq\ 2)$$

$$\text{Where } \Delta T_{data\ copy} = \left(\frac{1}{Speed_{copyIn}} + \frac{1}{Speed_{copyOut}}\right).$$

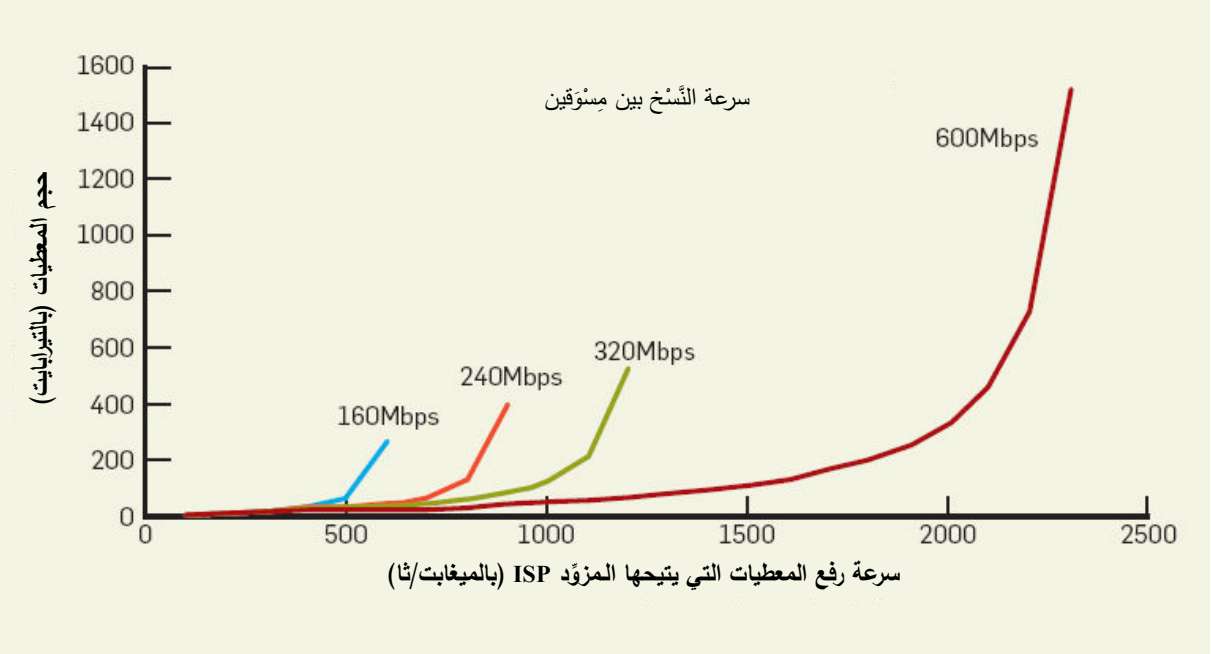
أما الشكل 7 فيُظهِر العلاقةَ بين حجم المعطيات العَتَبي هذا وسرعة الرفع المستديمة المتاحة من المزوِّد ISP في حالة قِيَمٍ مختلفةٍ لسرعات النَّسْخ بين مِسْوَقين.

وتُظهِر المعادلةُ 2 أيضًا أنه، في حال قيمةٍ معلومةٍ لسرعة النَّسْخ من مِسْوَقٍ إلى مِسْوَق، تستمر النَّزعةُ التصاعُديَّة في الحجم $V_{content}$ إلى نقطةٍ حيث: $Speed_{upload} = 8 / \Delta T_{data\ copy}$، وبِتَخَطِّيها يصبح الحجمُ $V_{content}$ لانهائيًّا، وهذا يعني أنه عاد من غير الممكن شحنُ المعطيات بطريقةٍ أسرع من مجرَّد رفعها إلى السحابة، مهما كان حجمُ المعطيات ضخمًا. وفي هذه الحالة يجدر بك، ما لم تتحوَّل إلى وسيلةٍ أسرع لنسخ المعطيات إلى أداة الخَزْن ومنها، أن تكتفي برفعها إلى سحابة الوجهة (destination cloud) لا أكثر.

مجدَّدًا، ووفقًا للنَّسق المتمثِّل بطريقة نقل المعطيات المعتمِد على شرائط LTO-6 تعمل بسرعة 160 ميغابت/ثا، وطريقة الشحن السريع (overnight shipping) في غضون 16 ساعة، وطريقة زمن الحِمْل المضاف البالغ 48 ساعة،



الشكل 6. سرعة الرفع الدنيا اللازمة لرفعٍ أسرع.



الشكل 7. حجم المعطيات الأقصى الممكن لرفعٍ أسرع.

فإن سرعة الرفع، التي بِتَجاوُزِها يكون رفعُ معطياتك أسرع دومًا من شحنها، هي 640 ميغابت/ثا. فإذا كان لديك نفاذٌ إلى وسيلةٍ أسرع لنسخ المعطيات من مِسْوَقٍ إلى مِسْوَق – بسرعة 320 بت/ثا مثلاً – احتاجَ مزوِّدُك (ISP) أن يقدِّم سرعةَ رفعٍ مستديمةً تزيد على 1,280 ميغابت/ثا بغية جعل رفع المعطيات أسرع لك من نَسْخِها وشَحْنِها.

نقل المعطيات من سحابةٍ إلى سحابة

من الاستراتيجيات الأخرى نقلُ المعطيات مباشرةً من سحابة المَصْدر (source cloud) إلى سحابة الوجهة. ويُجرى ذلك عادةً باستعمال واجهاتٍ برمجيةٍ للتطبيقات (APIs) من مزوِّدَيْ سحابتَي المصدر والوجهة. ويمكن نقل المعطيات على مستوياتٍ شتى من الحُبَيْبِيَّة (granularity)[1] المنطقية من مثل: *أغراض (objects)*، أو *دِلاء (buckets)*، أو *فقاقيع ثُمانيَّة (byte blobs)*، أو *ملفّات*، أو مجرَّد *دفقٍ ثُمانيّ (byte stream)*. وبإمكانك أيضًا جدولةَ عمليات نقلٍ لمعطياتٍ كبيرة الحجم باعتبارها أعمالاً دُفعية (batch jobs) يمكن أن تعمل دون مراقبة، وتنبِّهك على إتمام العمل أو عدمه. ومن المحبَّذ الأخذُ بنقل المعطيات من سحابةٍ إلى سحابة بوجهٍ خاصٍّ عندما:

- تكون معطياتُك أصلاً في مزوِّد خَزْنٍ سحابي واحد، وترغب في نقلها إلى مزوِّد خَزْنٍ سحابيٍّ آخر.
- يقدِّم مزوِّدا الخَزْن السَّحابي للمَصْدر والوجهة كلاهما واجهاتِ API خروج ودخول للمعطيات.
- ترغب في الإفادة من نَسْخ المعطيات وجدولة البِنية الأساسية والخدمات التي تقدِّمها شركاتُ المزوِّدات السحابية

(1) وصفٌ، يقع مجالُه بين "الخشونة" و"النعومة"، لنشاطٍ أو سِمَةٍ حاسوبية (مثل مَيْز الشاشة، أو البحث والترتيب، أو تحصيص الشرائح الزمنية). يعبَّر عن هذا الوصف بدلالة حجم الوحدات التي يعالجها (بِكسل، أو مجموعة معطيات، أو شريحة زمنية). (المترجم)

(cloud providers).

لاحِظْ أن نقلَ المعطيات من سحابةٍ إلى سحابة، ورفعَها إلى السحابة هما في المفهوم سواءٌ من حيث انتقال المعطيات على رابط إنترنت. ومن هنا فإن اعتبارات السرعة نفسَها تنطبق على هذا النقل السحابيِّ تمامًا كما تقدَّمَ آنفًا لدى مقارنته باستراتيجية شحن المعطيات إلى مركز المعطيات. ولاحِظْ أيضًا أن سرعة رابط الإنترنت من سحابة المَصْدر إلى سحابة الوجهة قد لا تكون هي نفسُها سرعةَ الرفع التي يتيحُها المزوِّد ISP.

تكلفة نقل المعطيات

توفِّر شرائط LTO-6، وتكلفتها 0.013 سنتًا لكل غيغابايت[18]، واحدةً من أدنى نسب التكلفة إلى الخَزْن (cost-to-storage ratios)، مقارنةً بخيارات أخرى كالخَزْن بالمِسْوَق HDD أو بالمِسْوَق SSD. ومع ذلك فإن من السهل ملاحظة أن التكلفة الإجمالية لخراطيش الشرائط (tape cartridges) تصبح مرتفعةً جدًّا في حال خَزْن حجوم محتوياتٍ من رتبة تيرابايت فأعلى. ومن بين الخِيارات خَزْنُ المعطيات مضغوطةً (متراصَّة)؛ فشرائط LTO-6 مثلاً تستطيع خَزْن ما يصل إلى 6.25 تيرابايت من المعطيات لكل شريط[18] خزنًا مضغوطًا، وبذلك تستهلك عددًا أقلَّ من الخراطيش. على أن ضغطَ المعطيات عند المصدر، وفكَّ ضغطها عند الوجهة، من شأنه أن يخفض أكثر فأكثر سرعةَ النَّسْخ من أشرطة LTO وإليها، أو لأيِّ وسط خَزْن (storage medium) آخر في بابه. وكما أوضحنا قبلُ، فإن سرعةَ النسخِ المنخفضةَ قد تجعل شحنَ المعطيات أقلَّ جاذبيةً وقبولاً من رفعها على وصلة مزوِّد ISP معتمِدةٍ على الألياف.

لكن ماذا لو أنَّ مزوِّدَ الخَزْن السحابيِّ أعارَك أداةَ الخَزْن؟ عندها قد يكون بإمكان المزوِّد استعمال خِياراتٍ أعلى تطوُّرًا من مثل مساوِق حالة صُلبة (SSD) رفيعة المستوى، أو صفيفةٍ مؤتلفةٍ من مساوق HDD-SSD في أداة الخَزْن، التي سيكون شراؤها – في الأحوال الأخرى – لغرض نقل المعلومات فحسب باهظَ الثمن إلى حدٍّ بعيد. وواقع الأمر أن ذلك الأسلوب هو بالضبط ما اعتمدته شركةُ أمازون للتعامل مع خدمتها Amazon Web Services (AWS) Snowball[3] (كرة الثلج)، إذ تدَّعي أمازون أن ما يصل إلى 50 تيرابايت من المعطيات يمكن نسخُها من مَصْدَر معطياتك إلى داخل أداة خَزْن خدمة Snowball في غضون أقل من يومٍ واحد. وتتحوَّل مزيَّةُ الأداء هذه إلى معدَّلٍ مستديمٍ لنقل المعطيات لا يقلُّ عن 600 ميغابايت/ثا. وليس هذا النوعُ لمعدَّل نقل المعطيات ممكنًا إلا باستعمال صفيفاتِ مساوق SSD/HDD متطوِّرةٍ جدًّا ذات خوابي قراءةٍ أماميةٍ تعمل على واجهةٍ سريعةٍ من قبيل SATA Revision 3 أو SAS-3 أو PCI Express، مع وصلة إثرنت برتبة غيغابت من أداة الخَزْن.

والحقيقة أن مزايا أداء خدمة AWS Snowball تشبه إلى حدٍّ بعيد مزايا أداء تجهيزة الخَزْن الملحَق بالشبكة (network-attached storage (NAS) device)، مع إضافاتٍ أخرى كوحدةِ معالجةٍ مركزية CPU، وذاكرة RAM، وخدمات تعمية معطيات مُضَمَّنَة (built-in data encryption)، وواجهةِ شبكة إثرنت من رتبة غيغابت، وبرامجِ تحكُّمٍ مُضَمَّن– أضف إلى ذلك، بطبيعة الحال، بِنيةً متينةً محميَّةً من العبث (tamper-proof construction). وتنشأ فائدةُ خدماتٍ من قبيل Snowball عن مزوِّد السحابة، الذي يتيح تجهيزةً عاليةَ كفاءةِ الأداء (وباهظةَ التكلفة) تحاكي تجهيزةَ الخَزْن الملحَق بالشبكة (NAS)، يستطيع المستعملون «استئجارَها» لنَسْخ الملفَّات إلى سحابة المزوِّد. وتجدر الإشارة هنا إلى أن مزوِّدات السُّحُب الكبرى الأخرى، مثل غوغل (Google) ومايكروسوفت، لا تكاد تقلُّ كفاءةً في تقديم قدراتٍ إمكاناتٍ كهذه. فالمزوِّد مايكروسوفت يطلب منك شحنَ مساوق HDD داخليةٍ لواجهات الربط التسلسلي SATA II/III بغية

استيراد أو تصدير معطياتٍ إلى/من السحابة اللازوردية (Azure cloud)، ويوفِّر البرمجيّاتِ اللازمةَ لإعداد المساوق للاستيراد أو التصدير[16]. ومن ناحيةٍ أخرى، يبدو أن المزوِّد غوغل عَهَّدَ (أسندَ) خدمةَ نَسْخ المعطيات إلى مزوِّدِ طَرَفٍ ثالث[8] (third-party provider).

فَضَلَتْ نقطةٌ أخيرةٌ تتَّصل بالتكلفة، وهي أنه ما لم تكن معطياتُك في مركز معطياتٍ ذاتيِّ الإدارة، فإنَّ مزوِّدَ سحابة المَصْدَر يفرض عليك عادةً رسمًا ماليًّا على خروج المعطيات[4, 5, 12, 15] (data egress)، سواءٌ أنفَّذْتَ نَسْخًا للمعطيات معتمِدًا على القرص أم نَقْلاً للمعطيات من سحابةٍ إلى سحابة (cloud-to-cloud). وتُحَصَّل هذه الرسومُ في العادة عن كلِّ غيغابايت، وكلِّ تيرابايت، أو عن كل طَلَبٍ مُفْرَد. وليس ثمة رسمٌ يفرضه مزوِّدُ سحابة الوجهة على دخول المعطيات (data ingress).

النتيجة

لِنَقْلِ معطياتٍ كبيرة الحجم من موضعٍ إلى آخر عن طريق الإنترنت، لديك عدَّةُ خِيارات: رفعُ المعطيات مباشرةً باستعمال رابطٍ شبكي؛ ونَسْخُها إلى أداة خَزْن، ثم شحن الأداة إلى مزوِّد الخَزْن الجديد؛ وأخيرًا، نقلُ المعطيات من سحابةٍ إلى سحابة.

ويعتمد اختيارُك لأيِّما تقنيةٍ على عددٍ من العوامل: حجمِ المعطيات التي يتعيَّن نقلُها؛ وسرعةِ الربط المستديم بالإنترنت بين مخدِّمَي المَصْدَرِ والوجهة؛ وسرعةِ النَّسْخ المستديمة من مِسْوَقٍ إلى مِسْوَق، التي تتقبَّلُها أداةُ الخَزْن ومِسْوَقا المَصْدَر والوجهة؛ والتكلفةِ الماليةِ لنقل المعطيات؛ وعلى نطاقٍ أضيق، تكلفةِ الشَّحن وزمنِ العبور. ويُفضي بعضُ هذه العوامل إلى ظهور سرعاتِ الرَّفع العَتَبيَّة وحجومِ المعطيات العَتَبيَّة التي تؤثِّر تأثيرًا أساسيًّا في الاستراتيجية التي يمكن أن تختارَها لنفسك. كذلك فإن لعدد مرات النَّسْخ من مِسْوَقٍ إلى مِسْوَق تأثيرًا كبيرًا في مدى القبول لنَسْخ المعطيات وشحنها، في مقابل رفعها على الإنترنت، ولاسيما عند التنافس مع وصلةِ إنترنت معتمِدةٍ على الألياف الضوئية.

المؤلِّف

ساتشين ديت (https://in.linkedin.com/in/sachindate) يُعنى حاليًّا بملفِّ مايكروسوفت والتطبيقات السحابية لشركة e-Emphasys Technologies. عملَ سابقًا خبيرًا في مجال التقانات النقّالة، ومهندسَ برمجياتٍ للمشروعات، وباحثًا في البرمجيات المستقلة.

المراجع

[1] Apple. 2015. Thunderbolt; http://www.apple.com/thunderbolt/.
[2] Amazon Web Services. 2015. Global infrastructure; https://aws.amazon.com/about-aws/global-infrastructure/.
[3] Amazon. 2015. AWS Import/Export Snowball; https://aws.amazon.com/importexport/.
[4] Amazon. Amazon S3 pricing. https://aws.amazon.com/s3/pricing/.
[5] Google. Google cloud storage pricing; https://cloud.google.com/storage/pricing#network-pricing.
[6] Google. 2015. Cloud storage transfer service; https://cloud.google.com/storage/transfer/.
[7] Google. Google fiber expansion plans; https://fiber.google.com/newcities/.

[8] Google. 2015. Offline media import/export; https://cloud.google.com/storage/docs/offline-media-import-export.

[9] Herskowitz, N. 2015. Microsoft named a leader in Gartner's public cloud storage services for second consecutive year; https://azure.microsoft.com/en-us/blog/microsoft-named-a-leader-in-gartners-public-cloud-storage-services-for-second-consecutive-year/.

[10] SCSI Trade Association. Oct 14, 2015. Serial Attached SCSI Technology Roadmap; http://www.scsita.org/library/2015/10/serial-attached-scsi-technology-roadmap.html

[11] IEEE. 802.3: Ethernet standards; http://standards.ieee.org/about/get/802/802.3.html.

[12] Microsoft. Microsoft Azure data transfers pricing details; https://azure.microsoft.com/en-us/pricing/details/data-transfers/.

[13] Ookla. 2015. America's fastest ISPs and mobile networks; http://www.speedtest.net/awards /us/kansas-city-mo.

[14] PCI-SIG. 2011. Press release: PCI Express 4.0 evolution to 16GT/s, twice the throughput of PCI Express 3.0 technology; http://kavi.pcisig.com/news_room/Press_Releases/November_29_ 2011_Press_Release_/.

[15] Rackspace. 2015. Rackspace public cloud pay-as-you-go pricing; http://www.rackspace .com/cloud/public-pricing.

[16] Shahan, R. 2015. Microsoft Corp. Use the Microsoft Azure import/export service to transfer data to blob storage; https://azure.microsoft.com/en-in/documentation/articles/storage-import-export-service/.

[17] The Serial ATA International Organization. 2015. SATA naming guidelines; https://www.sata-io.org/sata-naming-guidelines.

[18] Ultrium LTO. 2014. LTO-6 capacity data sheet; http://www.lto.org/wp-content/uploads/ 2014/06/ValueProp_Capacity.pdf.

[19] Ultrium LTO. 2014. LTO-6 performance data sheet; http://www.lto.org/wp-content/uploads/ 2014/06/ValueProp_Performance.pdf.

[20] USB Implementers Forum. 2013. SuperSpeed USB (USB 3.0) performance to double with new capabilities; http://www.businesswire.com/news/home/20130106005027/en/SuperSpeed-USB-USB-3.0-Performance-Double-Capabilities.

وحدات المعالجة البيانية تعيد تشكيل الحوسبة

GPUs RESHAPE COMPUTING*

Samuel Greengard
ترجمة: د. أميمة الدكاك
مراجعة: د. أديب بطح

برزت وحدات المعالجة البيانية كقوة رئيسية في عالم الحوسبة، مطلقةً العنان لتقدمٍ عظيمٍ في التعلم العميق (deep learning) والذكاء الصنعي (AI).

في الوقت الذي يستمر فيه الباحثون بتوسيع حدود الشبكات العصبونية والتعلم العميق –وعلى وجه الخصوص في تعرف الكلام ومعالجة اللغات الطبيعية وتعرف الأشكال والصور، وتحليل النصوص والمعطيات، ومجالات أخرى معقدة– فإنهم يبحثون باستمرار عن طرق أكثر حداثة وجودة لتمديد وتوسيع إمكانات الحوسبة. كان المعيار الذهبي طَوال عقود هو عناقيد الحوسبة العالية الأداء (High Performance Computing (HPC) clusters)، التي رمت بمقدارٍ ضخم من قوة المعالجة للمسائل– وإن كانت بتكلفة عالية صعبة المنال. ساعد هذا النهج على دعم التقدم في مجالات واسعة ومتنوعة تشمل التنبؤ الجوي والخدمات المالية واستكشاف الطاقة.

ومع ذلك، في عام 2012 برزت طريقة جديدة. فمع أن الباحثين في جامعة إلينوي (Illinois) قد درسوا سابقاً إمكان استعمال وحدات المعالجة البيانية (GPUs) في الحواسيب الضخمة المكتبية لتسريع معالجة بعض المهام مثل استعادة الصور، عرضت مجموعة من علماء الحواسيب في جامعة تورنتو (Toronto) طريقة لتطوير الرؤية الحاسوبية على نحو ملموس باستعمال الشبكات العصبونية العميقة (deep neural networks) المنفذة على GPUs. بتوصيل وحدات GPUs المستعمَلة سابقاً للبيانيات في الدرجة الأولى، تمكنّا فجأة من تحقيق مكاسب عظيمة في أداء حسابات الشبكات العصبونية، وظهر أثر هذه المكاسب في الحصول على نتائج أفضل في الرؤية الحاسوبية.

لقد ثَبَتَ أن هذا التقدم جذري، ويقول كورت كويتسر (Kurt Keutzer) الأستاذ في قسم الهندسة الكهربائية وعلوم الحاسوب في جامعة كاليفورنيا ببيركلي: "فقط خلال بضع سنوات قصيرة، برزت وحدات المعالجة البيانية (GPUs) في مركز التعلم العميق (deep learning)"، ويتابع: "لقد أصبح استعمال الـ GPUs تياراً معتمداً، وباستعمال عشرات أو مئات المعالجات في تطبيق واحد، فإن هذه المعالجات على مسار تغيير الحوسبة جذريا".

---

*نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 9، أيلول (سبتمبر) 2016، الصفحات 14 – 16.

تُبرز البطاقة البيانية NVida Titan X، وحدةَ المعالجة البيانية المزوَّدة بـ "باسكال" التابعة للشركة، المقودة بـ 3584 نواة من نمط (CUDA)[1] يعمل كل منها بتردد 1.5 GHz.

ويضيف وين ماي هو (Wen-Mei W. Hwu)، الذي مُنِح كرسي "ولتر ساندرز (Walter J. sanders)"، وهو الثالث المخصص (للتجهيزات –النّبيطات– المكروية المتطورة) في الهندسة الكهربائية والحاسوبية في أوربانا شامبين (Urban Champaign) في جامعة إلينوي : "GPUs هي تجهيزات حوسبة رائعة بأداء عالٍ. لا تُنفَّذ الـ GPUs مهمة واحدة فقط بسرعة. ولكن، إذا كان لديك عددٌ كبير من المهام المستقلة، فهي تعمل حقاً على نحوٍ جيد".

رؤية أعمق

لبنيان الـ GPU جذور في عمليات التشغيل البيانية الأساسية مثل التظليل. في عام 1999 طرحت شركة إنفيديا (Nvidia) المعالج GeForce 256، الذي أُطلِق عليه اسم أول GPU في العالم. ببساطة، فإن الدارات المتخصصة –التي يمكن أن

[1] Compute Unified Device Architecture: بنيان تجهيزة حسابات موحد. (المترجم)

تُبنى في بطاقات الفيديو أو البطاقات الأم للحواسيب– تعالج الذاكرة الحاسوبية وتستمثلها لتسريع العرض على شاشات الإظهار. وتُستَعمل وحدات GPU حالياً في طيف واسع من التجهيزات، ومنها الحواسيب الشخصية، والألواح الحاسوبية، والهواتف النقالة، ومحطات العمل، واللافتات الإلكترونية، ووحدات التحكم في الألعاب وفي النظم المضَمَّنة.

ومع ذلك، يشرح كويتسر (Keutzer): "الكثير من تطبيقات الرؤية الحاسوبية والتعلم العميق البازغة ذات ذاكرة بعرض حزمة محدود"، ويتابع: "في هذه التطبيقات، في غالب الأحيان، يكون زمن سحب المعطيات من الذاكرة وإرسالها إلى المعالج حاسماً في تحديد السرعة النهائية للتطبيق".

إحدى أكبر مِيْزات التنجيز باستعمال الـ GPU، والتي يُتغاضى عنها مراراً، هي عرض الحزمة الواسع من المعالج إلى الذاكرة. ويشير كويتسر (Keutzer) إلى أنه بالنتيجة: "في التطبيقات المحدودة عرض الحزمة، فإن ميزة عرض الحزمة في النقل من المعالج إلى الذاكرة تترجم مباشرة إلى أداء مرتفع للتطبيق". الفكرة المفتاحية هي أن GPU توفر عدداً أكبر من العمليات الحسابية بالفاصلة العائمة بالثانية FLOPs[2] باستعمال مقدار أقل من الاستطاعة الكهربائية، وهي فعليّاً عزّزت ميزة الطاقة بدعمها الأعداد الممثَّلة على 16 بتاً بالفاصلة العائمة، والتي هي أشد فعالية من حيث الطاقة والاستطاعة من الأعداد الممثَّلة بالفاصلة العائمة على 32 بتاً بدقة وحيدة أو على 64 بتاً بدقة مضاعفة.

يعتمد النهج الكثير النوى (manycore) للـ GPUs على عدد أكبر من نوى معالجات أبسط من 32 إلى 64 معالجاً. بالمقابل، يستعمل النهج المتعدد النوى (multicore) أعداداً أقل من المعالجات الصغرية التقليدية، نموذجياً من 2 إلى 4 إلى 8 معالجات. والنتيجة؟ يقول كويتسر (Keutzer) "تُعطي GPUs أداء أعلى ودعماً بنيونيّاً أفضل للشبكات العصبونية العميقة. وتتحول ميزات أداء الـ GPUs في الشبكات العصبونية العميقة إلى تنوّع متزايد من التطبيقات".

حالياً يتكون العنقود (الحشد) (cluster) النموذجي من 8 إلى 16 GPUs، مع أن الباحثين أمثال كويتسر يدفعون هذا الرقم الآن إلى المئات ليدربوا شبكات عصبونية عميقة، بنفس الوقت، على مجموعات معطيات واسعة اتساعاً استثنائياً، وإلا تطلّب الأمر أسابيع من التدريب. يتضمن التدريب إدخال مقادير هائلة من المعطيات (معطيات كبيرة (big data)) من خلال النظام لإيصاله إلى حالة يستطيع فيها حل مسائل. وعندها يمكن تنفيذ النظام على وحدة معالجة مركزية CPU أو معالج هجين. ويسجل كويتسر ملاحظته: "هذا ليس تمريناً أكاديمياً، نحن نحتاج إلى هذه السرعات في تدريب شبكات عصبونية لدعم التطبيقات البازغة مثل القيادة الذاتية للسيارات".

تتقدّم تقانة GPU أسرع بكثير من وحدات المعالجة المركزية (CPUs) التقليدية. إن قابلية توسيع GPUs وقدرتها الحسابية الواضحة بالفاصلة العائمة وقلة استهلاكها للطاقة، كل هذه العوامل تعزز التعلّم العميق ومهام التعلّم الآلي. يقول براين كاتانزارو (Bryan Catanzaro)، كبير الباحثين لدى شركة Baidu الصينية المختصة بالخدمات المعتمدة على الإنترنت، والبحث، والمعطيات: "إن التعلّم العميق ليس جديداً، كذلك GPU ليست جديدة. إلا أن الأبحاث في هذا الحقل تقلع بفضل التقدم الهائل في الإمكانات الحاسوبية ومتاحية مجموعات المعطيات الغنية".

لقد أتى الكثير من الدفع إلى الأمام من شركة Nvidia، التي قدّمت GPUs متطورة جداً متضمنة بنيان باسكال Pascal الجديد، المصَمَّم لمعالجة مهام محددة مثل التدريب والاستدلال. إن نظام GPU الجديد من هذه الشركة والمسمى

[2] اختصار floating-point operations per second.

جذاذة Tesla P100 يضم 15 بليوناً من الترانزستورات على قطعة سيليكون، وهذا يشكّل ضعف عدد الترانزستورات في المعالجات السابقة.

على سبيل المثال، تدفع Baido باتجاه حدود جديدة لتعرّف الكلام. وتزوّد مبادرتُها المسماة "الكلام العميق (Deep Speech)"، التي تعتمد على شبكة عصبونية من طرف لآخر، دقةً في تعرف الكلام تنافس البشرَ على مقاطع صوتية قصيرة في كلتا اللغتين الإنكليزية والصينية. تغامر الشركة أيضاً في مجال العربات الذاتية (autonomous vehicle) باستعمال تقانة GPU؛ وقد طوّرت عربة بقيادة ذاتية جابت شوارع بكين، ونفّذت مناورات شملت تغيير خط السير، وتجاوز عربات أخرى وتوقفاً وإقلاعاً.

في غضون ذلك، استعمل باحثون من شركة مايكروسوفت في آسية GPUs وأَحَدَ أشكال الشبكات العصبونية العميقة، المسماة الشبكات العصبونية المتبقية (residual Neural Net) للحصول على دقة أعلى في مسائل الرؤية الحاسوبية المتعلقة بتصنيف الأغراض وتعرّفها.

تستعمل شركة غوغل أيضا هذه التقنيات لتحسين خوارزميات تعرّف الصور لديها باستمرار. يقول إيليا سوتسكيفر (Ilya Sutskever) وهو باحث سابق في شركة غوغل في مجال الذكاء الصنعي AI، وحالياً مدير بحوث لدى شركة بحث غير ربحية في مجال الذكاء الصنعي هي Open AI موقعها على الشابكة (https://openai.com): "تنعم الشبكات العصبونية بنهضة حالياً. لقد جرت مناقشة الأفكار الرئيسية للشبكات العصبونية والتعلّم العميق، والتأمل فيها، خلال عدة سنوات، ولكن الشيء الأساسي الذي مكّن من هذا النجاح هو تطوير GPUs متعددة الأغراض".

خطوة أبعد

في الوقت الذي تدفع فيه تقانة GPU باتجاه حدود جديدة في مجال التعلّم العميق، ما زال لدينا الكثير من التحديات الحوسبية. لسببٍ واحد، يقول كويتسر (Keutzer): "ما زالت برمجةُ التجهيزات المتعددة النوى مثل الـ GPUs، كُلٌّ على حدة، للحصول على فعالية أشد أمراً صعباً جدًّا، وفقط تتضاعف هذه الصعوبات حين تُجمَّع هذه التجهيزات معاً في عناقيد (حشود) clusters متعددة الـ GPUs". مما يؤسف له أنه يضيف: "إن معظم الخبرة لبرمجة هذه التجهيزات على نحو فعّال محصورة في الشركات، والكثير من تفاصيل التقنيّات التي طُوِّرَت لا يجري تشاركها تشاركاً واسعاً".

بالمشابهة، كثيراً ما يوصف تصميم الشبكات العصبونية العميقة "بالفن الأسود"، يقول كويتسر (Keutzer)؛ إن تعقيد إنشاء بنيان شبكة عصبونية جديدة، في كثير من الأحيان، مثل تعقيد إنشاء بنيان جديد لمعالج صغري. ولتكون الأمور أسوأ، فإنه بعد إنشاء بنيان الشبكة العصبونية العميقة، "ثمة مفاتيح للضبط تُعرَف بالموسطات الفائقة، تُستَعمل أثناء التدريب، ولا يمكن الحصول على دقة عالية إلا حين إعطاء هذه المفاتيح القيم المناسبة. كل هذا يوسّع الفجوة المعرفية بين هؤلاء 'الذين يعلمون' والآخرين".

ويتابع: "الأفراد الذين لديهم خبرة في الشبكات العصبونية العميقة، أو في برمجة GPUs نادرون، وأولئك الذين يعرفون الأمرَين معاً معرفة جيدة نادرون جداً".

ثمة تحدٍّ آخر وهو فهم كيفية تشغيل الـ GPUs بأعلى فعالية. على سبيل المثال، تتطلب شركة Baidu 8 إلى 16 GPUs لتدريب نموذج واحد، محررة إنتاجية من رتبة 40% إلى 50% من ذروة (كامل إمكانات) العمليات الرياضية بالفاصلة العائمة على كامل التطبيق. ويقول كاتانزرو (Catanzaro): "هذا يعني أنه لم يتبقَ إلا القليل من إمكان رفع

الأداء، مازال هناك أشياء نودّ القيام بها لتوسيع النطاق إلى عدد أكبر من الـ GPUs، فعوضاً عن استعمال 8 أو16 منها، نفضل استعمال 128 على سبيل المثال". ويُتَرجَم هذا بالحاجة إلى المزيد من الترابط بين هذه التجهيزات إضافة إلى إمكان الانتقال من الدعامة بفاصلة عائمة على 32 بتاً إلى دعامة بفاصلة عائمة على 16 بتاً. يعالج الجيل القادم من GPUs لدى شركة Nvidia، المسمى باسكال Pascal، بعضاً من هذه المواضيع.

وما زال هناك عقبة أخرى، تكمن في مكاملة GPUs مع المعالجات الحاسوبية CPU/GPUs[3]. يقول "هو (Hwu)" أن هذين النوعين من المعالجات لا تتكامل غالباً معاً، وعادةً، ليس هناك عرض حزمة كبير للتواصل بينهما[4]. ويُتَرجَم هذا بعدد محدود من التطبيقات والإمكانات التي يمكن تنفيذها على هذه النظم. ويشرح كاتانزارو ذلك بقوله: "تحتاج حقاً إلى أن تكون قادراً على إعطاء الـ GPU نوعاً من المهام الكبيرة مع مقدار معين من المعطيات وتتركه يعمل عليها مدّةً تجعل هذا التحميل الحسابي مستَحقّاً".

تتوضع GPUs الحالية لشركة Nvidia على جذاذات منفصلة. وهي ترتبط عادة مع الـ CPU بواسطة مسرى دخل/خرج (PCIe)[5]. ولهذا السبب نحتاج لإرسال مهام كبيرة إلى GPU. سوف تكامل النظم المستقبلية GPUs مع CPUs في رزمة محكمة الربط تدعم عرض حزم أسرع (معدلات نقل أسرع)، وتأخيراً أقل، كما تدعم تقاسم الذاكرة الخابية باتساق بين CPUs و GPUs.

يتوقع كويتسر، أنه مع مرور الزمن، حين تصبح CPUs و GPUs متكاملتين على نحو أفضل نحصل على اتساق ذاكرة خابية وعلى تزامن أفضل بين هذين النوعين من المعالجات. في الحقيقة، يركز كلٌّ من شركتي إنفيديا (Nvidia) وإنتل (Intel) على هذا المجال. ويذكر كويتسر أن جذاذة جديدة من شركة إنتل تسمى (KNL) (Knights Landing) (Xeon Phi) تقدم طاقة حسابية غير مسبوقة على معالج Xeon Phi ذي النوى الـ 72 الخاص بالحوسبة الفائقة، يكامل هذا المعالج ميزات الـ CPU والـ GPU معاً. تقدم هذه الجذاذة أيضاً عرض حزمة لنقل المعطيات من المعالج إلى الذاكرة يساوي 500 جيغا بايت في الثانية، ويضيف كويتسر: أن هذا الأمر سيقلص مزايا GPU في هذا المجال.

ويلاحظ "هو Hwu" أن كل نواة من الـ 72 نواة في جذاذة KNL تستطيع تنفيذ "تعليماتِ متجهٍ عريضٍ (طوله 512 بايتاً). وعند تحويل هذا المتجه (vector) إلى قيم بالدقة المضاعفة (8 بايتات) أو الدقة البسيطة (4 بايتات)، فإنّه يتّسع لـ 64 و 128 كلمة على التتالي؛ بهذا المعنى يكون لنواة المعالج Xeon Phi نموذج تنفيذ مشابه لـ GPUs".

إن نموذج البرمجة للجذاذة KNL هو النموذج التقليدي للمعالجات من الجيل x86، ويقول Hwu: "المبرمجون بحاجة إلى كتابة أرمزة يمكن تحويلها إلى تعليمات متجهية (vectorizable) بواسطة مترجم لغة C من إنتل، أو إلى استعمال مكتبة التوابع الأصيلة للمتجهات، AVX من إنتل". ويضيف أن نموذج البرمجة لـ GPUs يعتمد على نموذج برمجة النوى (kernel).

أيضاً، يضيف Hwu أن النوى X86 تمتلك اتساق الذاكرة الخابية على كل مستوياتها التراتبية: "مع أن الذواكر الخابية من المستوى الأول لـ GPUs ليست متسقة، فإنها تأتي بسعر الذواكر ذات عرض الحزمة المخفض". ومع ذلك،

[3] تتضمن الحواسيب الحالية وحدة معالجة مركزية CPU مع وحدة معالجة بيانية GPU. (المترجم)

[4] إمكان تواصل المعطيات بينهما بمعدل مرتفع. (المترجم)

[5] Peripheral Component Interconnect Express: مسرى حاسوبي معياري تسلسلي عالي السرعة. (المترجم)

يتابع Hwu: "في حالة تطبيقات التعلّم العميق، فإن اتساق الذاكرة الخابية من المستوى الأول ليس مهماً لمعظم الخوارزميات".

على مدى العقد القادم، ستكون هناك قضية عامة هامة في كل هذا وهي كيف ستمضي حلقة التطور، يقول Hwu. إنه يعتقد أن قانون مور[6] (Moor's law) يمكن أن يستمر بمعدله الحالي قُرابة ثلاثة أجيال قادمة أو أكثر. ويتابع: بنفس الوقت، من المحتمل أن يستغرق مصممو النظم والمهندسون ثلاثة أجيال تقريبا للتحوّل من معظم النظم بـ CPU أو GPU منفصلة إلى التصاميم الهجينة الحقيقية التي تتضمن النوعين. ويشير Hwu "إذا ما تباطأ قانون مور فيمكن أن يؤثر تأثيرا كبيراً في مستقبل هذه النظم، وفي طريقة استعمال الناس للعتاديات والبرمجيات في مهام التعلم العميق وغيرها. حتى إذا حللنا المشاكل العتادية، فإن مهامّ معينة في التعلم العميق تتطلب كمّا هائلا من المعطيات الموسومة بلصيقات (labeled data). وفي لحظة ما، سنحتاج إلى "فَتحٍ" في توليد المعطيات الموسومة بلصيقات للقيام بالتدريب اللازم، خصوصا في مجالات مثل القيادة الذاتية للسيارات".

ويقول سوتسكيفر (Sutskever): على مدى السنوات القليلة القادمة سيضغط التعلم الآلي بشدة باتجاه GPUs: "مع تحسن طرائق التعلم الآلي، فإنها ستمتد إلى ما وراء الاستعمالات الحالية وستتماوج (ستتداخل) مع كل شيء من العناية الصحية والربوطات إلى الخدمات المالية وواجهات المستثمر. وستعتمد هذه التحسينات على GPUs أسرع، تساعد إلى حد بعيد أبحاثَ التعلم الآلي".

ويضيف كاتانزارو (Catanzaro):"الـ GPUs هي البوابة إلى مستقبل الحوسبة. والتعلم العميق مثير لأنه يتحسن بإضافة المزيد من المعطيات. وعند هذه النقطة، سيكون لدينا نَهَمٌ شديد لمعطيات أكثر وإلى موارد حسابية لحل مسائل معقدة. تُعتَبر تقنية GPU جزءاً هامًّا لدفع حدود الحوسبة".

قراءات للاستزادة

- Raina, R., Madhavan, A. and Ng, A. Y. "Large-scale Deep Unsupervised Learning using Graphic Processors", Proceedings of the 26th International Conference on Machine Learning, Montreal, Canada, 2009, http://www.machinelearning.org/arcive/icml2009/papers/218.pdf.
- Wu, G. Greathouse, J.L., Lyashevsky, A., Jayasena, N., and Chiou D. "GPGPU Performance and Power Estimation using Machine Learning", Electrical and Computer Engineering, The University of Texas at Austin, 21st IEEE International Symposium on High Performance Architecture, 2015, http://hgpu.org/?p=13726.
- Coates, A., Huval, B., Wang, T., Wu, D. J., Ng, A. Y., and Catanzaro, B. "Deep Learning with COTS HPC systems", Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning, Atlanta, Georgia, USA, 2013. JMLR: W&CP volume 28. http://cs.stanford.edu/~acoates/papers/CoatesHuvalWangWuNgCatanzaro_icml2013.pdf.
- Chen, X., Chang, L., Radrigues, C.I., Lv, J., Wang, Z., and Hwu, W. "Adaptive Cache Management for Energy Efficient GPU Computing, MICRO-47, Proceedings of the 47th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture, 343-355, IEEE Computer Society, 2014, http://dLacm.org/citation.cfm?id=2742190.

[6] يقضي قانون مور بأن عدد الترانزستورات التي يمكن وضعها على جذاذة بمساحة بوصة مربعة يتضاعف كل عام (إلى عامين) وهذا يزيد أسياً في القوة الحسابية للحواسيب.

تسريع البحث

ACCELERATING SEARCH*

Marina Krakovsky
ترجمة: م. أحمد الزعبي
مراجعة: د. سعيد دسوقي

يساعد الأحدث في التعلم الآلي، فيزيائيي الطاقة العالية على التعامل مع الكم الهائل من المعطيات الذي يوِّلده مصادم الهدرونات الكبير.

إن كل ما يتعلق بمُصادِم الهدرونات الكبير (LHC) –وهو مسرّع الجسيمات الشهير بفوزه بجائزة نوبل في اكتشاف بوزون هيغز المحير– هو ضخم، ابتداءً بحجمه الفعلي وانتهاءً بطموحه العظيم في اكتشاف بعض الأسرار الجوهرية للكون. فبمحيطه البالغ 27 كيلومتراً (17 ميلاً)، يعتبر المسرع حقاً أكبر آلة في العالم. يمكِّن هذا الحجمُ مصادمَ الهدرونات الكبيرَ –المحفوظَ عميقاً تحت الأرض في CERN (المنظمة الأوربية للأبحاث النووية) قرب جنيف– من تسريع البروتونات إلى سرعات قريبة جداً من سرعة الضوء، فتتصادم البروتونات تصادماتٍ تكفي لتوليد نسخ مصغرة من الانفجار العظيم Big Bang.

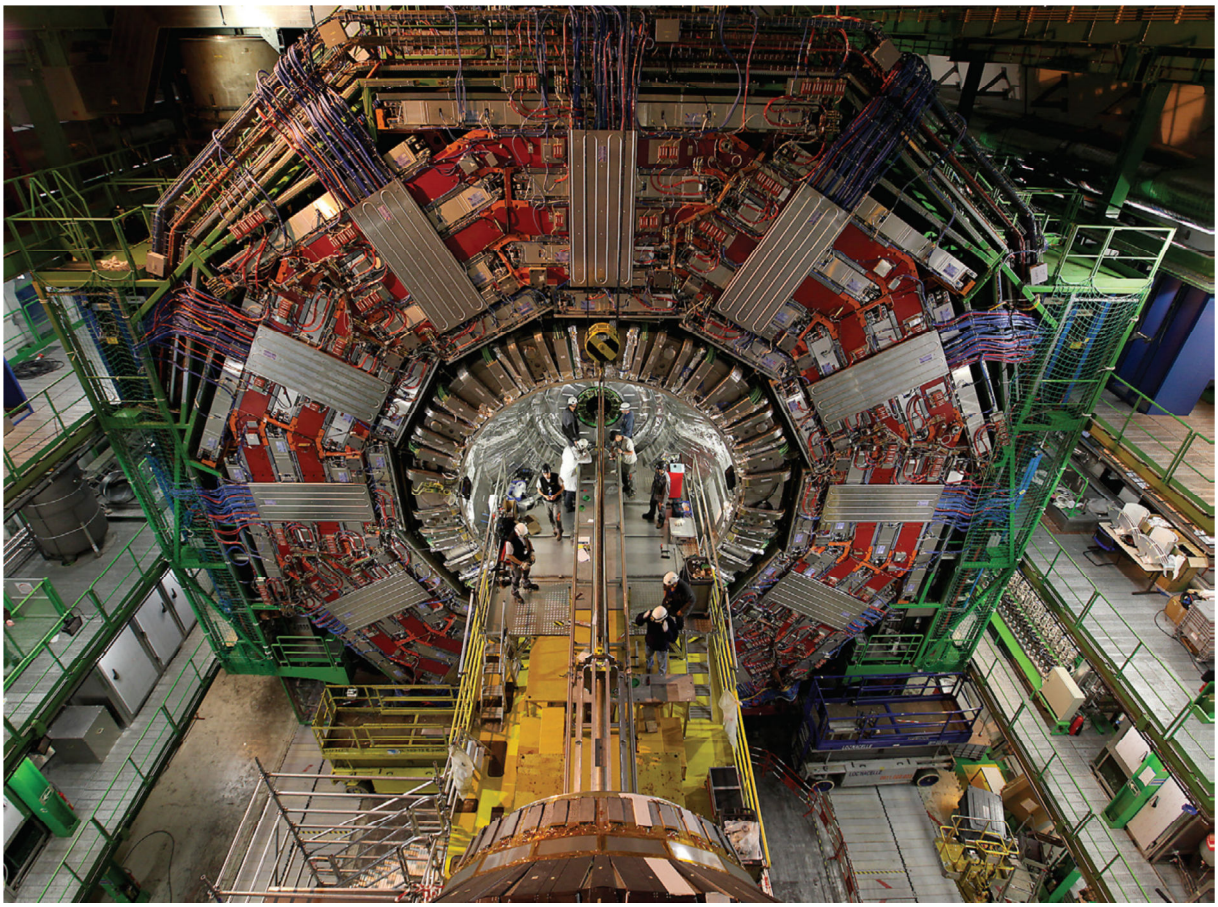
إن المعطيات الناتجة من هذه التصادمات، والتي تجري معالجتها وتحليلها بواسطة شبكة عالمية من المراكز الحاسوبية وآلاف من العلماء، تقاس بالبيتا بايت: فعلى سبيل المثال يستطيع أحد كواشف العنصورة الرئيسة في مصادم الهدرونات الكبير التي تتصيد المعلومات عن التصادمات، وهي الكمرات العالية الدقة الفائقة المتانة، أن تسجل رقما مذهلاً: 40 مليون صورة بالثانية، وهي كمية أكبر بكثير جدّاً من أن تخزن بكمالها.

إن هذه هي صورة مصغرة عن المعطيات الكبيرة –ومع ذلك فإننا عندما نفكر بالمعطيات الكبيرة، وبخوارزميات التعلم الآلي المستعملة في استخراج معنى لهذه المعطيات، فإننا عادة ما نفكر بتطبيقات معالجة النصوص والرؤية الحاسوبية، وباستعمالات تسويقية كتلك الموجودة في غوغل، وفيسبوك، وآبل، وأمازون. "فمركز الثقل للتطبيقات هو في مكان آخر"، خارج العلوم الفيزيائية والطبيعية، كما تقول إزابيل غويون من جامعة باريس–ساكلي (Saclay) التي تشغل منصب رئيس قسم المعطيات الكبيرة في الجامعة. "فبالرغم من كون الفيزياء والكيمياء تطبيقات هامة جداً إلا أنها لا تلقى الاهتمام الكافي من مجتمع التعلم الآلي."

لقد عملت غويون –وهي أيضاً مدير ChaLearn.org وهي منظمة غير ربحية تنظم مسابقات التعلم الآلي– على نقل اهتمام علماء المعطيات إلى احتياجات فيزيائيي الطاقة العالية. "فتحدِّي التعلم الآلي الخاص ببوزون هيغز" الذي ساهمت بتنظيمه عام 2014، والذي لم تكن المشاركة فيه تتطلب رسمياً أي معرفة بفيزياء الجسيمات، كان فيه مشاركون

*نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 7، تموز (يولية) 2016، الصفحات 15 – 16.

يقومون بغربلة المعطيات من مئات الألوف من التصادمات المحاكاة (وهي مجموعة معطيات صغيرة بحسب مقاييس مصادم الهدرونات الكبير) ليصار إلى استنتاج أي من التصادمات كانت تحتوي على بوزون هيغز، وهو آخر جسيم دون ذري لوحظ الدليل على وجوده في "النموذج القياسي" لفيزياء الجسيمات.



مُصادِم الهدرونات الكبير.

لقد جذب "تحدي التعلم الآلي الخاص ببوزون هيغز" برغم جائزته الكبرى المتواضعة البالغة 7000 دولار أكثر من 1000 متنافس. وفي النهاية أصبح الفيزيائيون قادرين على تعلم أمرٍ أو اثنين من علماء المعطيات، كاستعمال التثبت التصالبي (cross validation) لتفادي مشكلة فرط تلبيق (overfitting) أحد النماذج وفقاً لِغُوْيون على مجموعة معطيات واحدة أو اثنتين فحسب. غير أن فيزيائيي الطاقات العالية العاملين في مصادم الهدرونات الكبير، كانوا حتى من قبل هذه المنافسة المفتوحة يستعملون تقنيات التعلم الآلي لتسريع أبحاثهم. وليس اكتشاف بوزون هيغز إلا مثالاً على ذلك. تقول ماريا سبريوبولو أستاذة الفيزياء في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا Caltech وأحد قوّاد فريقٍ يعمل على وشيعة الميون المتراصة (CMS)؛ وهي إحدى التجارب الأساسية في المصادم: "لقد استَعْمَل اكتشافُ بوزون هيغز الكثيرَ من تقنيات التعلم الآلي". وتقول أيضاً: "في عام 2005 كنا نتوقع أن نتوصل إلى اكتشاف بنحو 14 TeV [تيرا (ألف مليار 10^{12}) إلكترون فولط] بحلول عام 2015 أو 2016، إلا أننا توصلنا إلى الاكتشاف في عام 2012 وبنصف الطاقة المتوقعة وبعامين من

المعطيات فقط. ولا ننكر فضل الطبيعة في ذلك بسبب وجود هيغز، إلا أن الفضل الأكبر في سرعة هذا الاكتشاف يعود للحوسبة التي كانت حليفاً قويّاً جدّاً جدّاً".

يقول (ماورو دونيغا) الفيزيائي في ETH في زوريخ الذي عمل على كل من تجربتَي ATLAS لفيزياء الجسيمات و CMS؛ التجربتين الأساسيتين في مصادم الهدرونات الكبير: "في هذه الأيام تُستعمل تقنيات التعلم الآلي –وفي المقام الأول التعلم بإشرافٍ عليه (supervised learning)– في كل مرحلة من عمليات المصادم". تبدأ هذه الإجرائيةُ بنظامِ القادح الذي يحدد مباشرة بعد كل تصادم أتستحق معلومات الحدث الاحتفاظ بها (فمعظمها يُهمَل)، ثم ينتقل إلى مستوى الكاشف، حيث يساعد التعلم الآلي بإعادة بناء الأحداث. ثم، ووفقاً للقواعد، يساعد التعلم الآلي في تموضع المعطيات تموضعاً أمثلياً عن طريق التنبؤ بمجموعات المعطيات التي ستصبح مهمة؛ تضمن إعادة نسخ مجموعات المعطيات هذه للقائمين بالأبحاث عبر شبكة الحوسبة العالمية الخاصة بالمصادم (وهي تعاون عالمي يضم أكثر من 170 مركزاً حاسوبياً في 42 بلداً) نفاذاً مستمراً حتى إلى أكثر المعطيات شيوعاً. يقول دونيغا: "هناك المليارات من الأمثلة [على التعلم الآلي] في هذه اللعبة –فهي موجودة في كل ما نقوم به".

إن البحث عن جسيمات جديدة هو بالطبع من صميم جهود المُصادم. ويعتَبَر هذا البحثُ في مصطلحات معالجة المعطيات مسألةَ تصنيف يستعين فيها الفيزيائيون بتقنيات تعلم آلي كالشبكات العصبونية وأشجار القرار المعززة من أجل استخراج إشارات شحيحة وغير واضحة توحي بجسيمات جديدة من "الأرضية" الضخمة أو من أغلبية الجسيمات المعروفة، وبالتالي غير الهامة الناتجة من التصادمات. تعتَبر هذه مسألة تصنيف صعبة برأي (بيير بالدي) أستاذ علوم الحاسوب في جامعة كاليفورنيا (بإريفينا) وأحد أفراد ACM الذي طبق التعلم الآلي على مسائل في الفيزياء والبيولوجيا والكيمياء.

"بسبب الضعف الشديد للإشارة، يكون لدينا كم ضخم جدّاً من المعطيات، ويكون بوزون هيغز [على سبيل المثال] حدثاً نادراً جداً، تماماً كالبحث عن إبرة في كومة قش" كما يقول (بالدي) مستعملاً العبارة المجازية التي يعتمدها معظم الباحثين في حديثهم عن البحث عن الجسيمات النادرة. إنه يقارن مسألة التصنيف هذه بالمهمة الأكثر ابتذالاً بكثير المتمثلة بتمييز الحاسوب لوجوه الذكور عن وجوه الإناث في كومة من الصور، وهي وضوحاً مسألة تصنيف، كذلك. وتمييز الصور حسَب الجنس قد يغدو مسألة صعبة في بعض الحالات الحدية إلا أنها سهلة نسبياً بالمجمل.

في هذه الأيام لم يعد مصادمُ الهدرونات الكبيرُ تنقصه الأدوات اللازمة للتحدي. فعلى سبيل المثال، تركز إحدى الخوارزميات التي يستعملها دونغا وزملاؤه على اختزال الخلفية، وهي إجرائية هدفها تقليص الخلفية إلى أقصى ما يمكن بغية توضيح الإشارة. إن التطورات التي طرأت على الحوسبة –كوحدات المعالجة البيانية الأسرع من أي وقت مضى وصفيفات البوابة القابلة للبرمجة ميدانياً– قد ساندت جهود الفيزيائيين؛ حيث مكنت هذه التطورات من إعادة استعمال الشبكات العصبونية، التي تعتبر البِنية التي تقوم عليها مجموعة قوية من تقنيات التعلم الآلي ذات الحسابات المركزة والتي تعرف بالتعلم العميق (deep learning).

وفضلاً على ذلك، بدأ الفيزيائيون بتجنيد علماء المعطيات، إضافة إلى استمرارهم في إتقان الإحصاء والتعلم الآلي بأنفسهم، كما يقول ماوريزيو بييريني وهو فيزيائي في CERN قام بتنظيم ورشة تشرين الثاني الأخير التي أقامها مصادم الهدرونات الكبير عن علم المعطيات. يشير ماوريزيو إلى ATLAS، وهو أكبر تجربة في المصادم، قامت في السنتين أو الثلاث سنوات الأخيرة "بإنجاز مدهش في استقطاب علماء الحاسوب للعمل مع الفيزيائيين" كما قال.

ومع أن التعلم الآلي قد أصبح أداة لا غنى عنها في مصادم الهدرونات الكبير، فأن هناك قلقاً طبيعياً من استعمال التعلم الآلي في تجارب الفيزياء. "فالفيزيائيون لديهم هوس في فهم مفصَّل لكل صغيرة وكبيرة في المسألة التي يتعاملون معها." كما يقول (بييريني). ففي الفيزياء، يتابع موضحاً، "تأخذ المسألةَ وتعيدُ تركيبَها وفق مكوناتها ثم تنشئ نموذجاً لها". "أما التعلم الآلي فلديه منظور مختلف تماماً، حيث يُطلب من الخوارزمية سبرُ معطياتك وإيجاد أنماط بين الخصائص المتباينة لمجموعة معطياتك. على حين يقول الفيزيائي: كلّا، سأقوم بذلك بنفسي".

إن الغموض فيما يحصل بالضبط في خوارزميات التعلم الآلي، أو ما يسمى "بمسألة الصندوق الأسود" هو أمر مربك للفيزيائيين، إلا أنهم قد أوجدوا وسائل تزيد من ثقتهم بنتائج هذه الطريقة الجديدة في حل المسائل العلمية. "عندما يكون لدينا برنامج محكم بإتقان ولكننا لا نفهمه فإننا جميعا مرتابون" كما يقول سبيروبولو، الفيزيائي في Caltech "ولكن ما إن نُقِرّ شيئاً ونتحققه حتى نواجهَ حقيقةَ أن هذه البرامج هي أشياء تقوم بعملها، فلا يبقى لدينا ما نقوله، ونقوم باستعمالها". ولتبسيط الأمر. وبعبارة بسيطة، يعلم الفيزيائيون أن الخوارزميات تعمل لأنها اختُبِرت بنجاح عدة مرات على ظواهر فيزيائية معروفة، لذا فإن لدينا كل الأسباب التي تدعونا إلى الاعتقاد بأنها تعمل عموماً.

في الواقع يؤْمِن سبيربولو بأن التعلم الآلي سيمكن الفيزيائيين من دفع حدود مجالهم إلى ما وراء النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، مما يسرع الاستقصاءات للظواهر الأكثر غموضاً، كالمادة السوداء، ونظرية التناظر الشامل (supersymmetry)، وأي جسيمات أخرى جديدة قد تنبثق عن المصادم.

"إنها ليست فانوساً سحرياً سيعطينا ما نشاء، بل إن هذه الخوارزميات ذات بنيانٍ شديدِ التنظيم، بحيث يمكن في حال إخفاقها معرفة مكان الإخفاق وتصحيح الخوارزمية".

مراجع للتوسع

- *Adam-Bourdarios, C.,Cowan,G., Germain, C., Guyon, I., Kegl, B. and Rousseau, D.,* The Higgs Boson Machine Learning challenge. JMLR: Workshop and conference proceedings 2015 http://jmir.org/preceedings/papers/v42/cowa14.pdf
- *Baldi, P., Sadowski, P., and Whiteson, D.,* Searching for exotic particles in high energy physics with deep learning, Nature Communications (2014), vol 5, pp1-9 http://bit.ly/1RCaiOB
- *Donega, M.,* ML at ATLAS and CMS: setting the stage data science @ LHC 2015 Workshop (2015), http://cds.cern.ch/record/2066954
- *Melis, G.,* Challenge winner talk. Higgs machine learning challenge visits CERN (2015), http://cds.cern.ch/record/2017360
- CERN. The worldwide LHC Computing Grid, http://home.cern/about/computing/worldwide-lhc-computing-grid

مارينا كراكوڤْسْكي، من سكان سان فرانسيسكو، هي مؤلفة The Middleman Economy، الذي يعنى بكيفية صناعة الثمن والربح من قبل السماسرة، والوكلاء، والتجار، والوسطاء اليوميين (Palgrave Macmillan, 2015).

المدن الذكية: مفاهيمها، بنياناتها، فرص أبحاثها

SMART CITIES: CONCEPTS, ARCHITECTURES, RESEARCH OPPORTUNITIES*

Rida Khatoun, Sherali Zeadally
ترجمة: د. نزار الحافظ
مراجعة: د. مكي الحسني

الغاية هي تحسين إدارة المدن من حيث الموارد الطبيعية والبلدية، وفي المقابل تحسين جودة حياة مواطنيها .

يُتوقع أن يبلغ تعداد السكان في العالم 8.5 مليار بحلول عام 2030، ويرتفع إلى 9.7 مليار بحلول عام 2050، ويصبح 11.2 مليار بحلول عام 2100. يعيش نصف البشرية اليوم في المدن، وتَشهد عدة مدن نموًّا هائلًا بسبب انتقال الناس من المناطق الريفية بحثًا عن وظائف وتعليم أفضل. ومن ثَم، فإن خدمات المدن وبِناها الأساسية قد بلغت حدودها من حيث قابلية التصعّد، والبيئة، والأمن لدى تكيّفها لدعم هذا النمو السكاني. ولذلك، يسعى واضعو الرؤى والمخططون لتحقيق اقتصادٍ مستدامٍ بعد الكربوني [20] لتحسين فعّالية الطاقة وتقليل مستوَيات انبعاثات الكربون إلى أدنى حد ممكن. وبالتزامن مع نمو المدن، تُعَدّ الحلول المبتكرة حاسمة لتحسين الإنتاجية (زيادة الكفاءة التشغيلية) وخفضِ تكاليف الإدارة.

الأفكار الرئيسة

- يَنهض العديد من المدن في آسيا وأوربا وأمريكا والشمال بمشاريع المدن الذكية.
- المدينة الذكية هي نظام معقد، بحيث أن مجرد وجود نقطة ضعف واحدة يمكن أن تؤثر في أمن المواطنين جميعًا.
- يجب أن تتصدى البحوث المستقبلية لارتفاعِ استهلاك الطاقة، وللأمن والخصوصية ونقص الاستثمار والمواطنين الأذكياء، ولغير ذلك من التحديات ذات الصلة التي تتيح تطويرَ واعتمادَ مدنٍ ذكيةٍ آمنةٍ منيعةٍ قابلةٍ للتصعّد.

المدينة الذكية هي منطقة حضرية حديثة جدًا تتصدى لاحتياجات الشركات، والمؤسسات، وخاصةً المواطنين. يجب هنا التفريق بين المدينة الذكية والتحضر الذكي؛ الغرض من هذين المفهومين هو نفسه: حياة المواطنين. لم يُراعِ مهندسو بنيانِ (معماريّو) المدن القديمة قابليةَ التصعّد– قابلية الوصول إلى المساكن، والتطوير المستدام، ومنظومات النقل، والنمو– على المدى الطويل،

*نُشِر هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 59، العدد 8، آب (أغسطس) 2016، الصفحات 46 – 57.*

ولا توجد إدارة موارد قابلة للتصعّد يمكن تطبيقها من عقد إلى آخر. ولسوء الحظ، فإنّ التحضر الذكي غير ممثل تمثيلًا جيدًا في تطوير المدن الذكية. يجب أيضًا أن يكون التحضر الذكي أحدَ مناحي المدينة الذكية، الذي يتضمن تقانات المعلومات والاتصالات. أدّت الزيادة الكبيرة في استهلاك الطاقة العالمية وفي عدد التجهيزات وغيرها من الأشياء المتصلة شبكيًّا بالمؤسسات الحكومية والصناعية، فى السنوات الأخيرة، إلى نشر مفهوم المدينة الذكية. تُعَدّ ديمغرافيةُ المدن، والظروفُ الاقتصادية والاجتماعية والبيئية أسبابًا رئيسيةً للزيادة الكبيرة في التلوث، والازدحام، والضوضاء، والجرائم، والهجمات الإرهابية، وإنتاج الطاقة، وحوادث المرور، وتغيّرات المناخ. تُعَدّ المدن اليوم المساهم الرئيسي في مشكلة المناخ، فهي تَشغل أقل من 2٪ من مساحة الكرة الأرضية، لكنها تستهلك 78٪ من الطاقة العالمية، وتولِّدُ أكثر من 60٪ من جميع انبعاثات غاز ثنائي أكسيد الكربون CO_2 (http://unhabitat.org/).

الحلول المبتكرة ضرورية للتصدي للتأثيرات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية للمدن. وتنطوي تلك الحلول على ثلاثة أهداف رئيسية هي:

إدارة محسَّنة لموارد الطاقة. يمكن تحقيق هذا الهدف بواسطة إنترنتِ الطاقة (IoE)، أو تقانة شبكة الكهرباء الذكية. تَربط إنترنت الطاقة (IoE)[1، 2] شبكاتِ الطاقة إلى الإنترنت، وترسِل وحداتِ الطاقة وفق الحاجة، وتمثِّل مجموعةً من مولدات الكهرباء المتجددة الموزَّعة المربوطة والمدارة بالإنترنت. يمكِّن إنترنت الطاقة IoT من المراقبة الدقيقة بالزمن الحقيقي لتدفقات الطاقة ويمكِّن من استمثالها؛

إنتاج الطاقة اللامركزية. يتيح مفهومُ إنترنت الطاقة IoT للمستهلكين أن يؤدوا دورَ منتجي الطاقة أنفسهم، وذلك باستعمال مصادرِ الطاقة المتجددة ووحداتِ الحرارة والطاقة المدمجة؛ تتيح اللامركزية إدارةً للطلب–الاستجابة أكثرَ ذكاء لاستعمال الطاقة للمستهلك؛

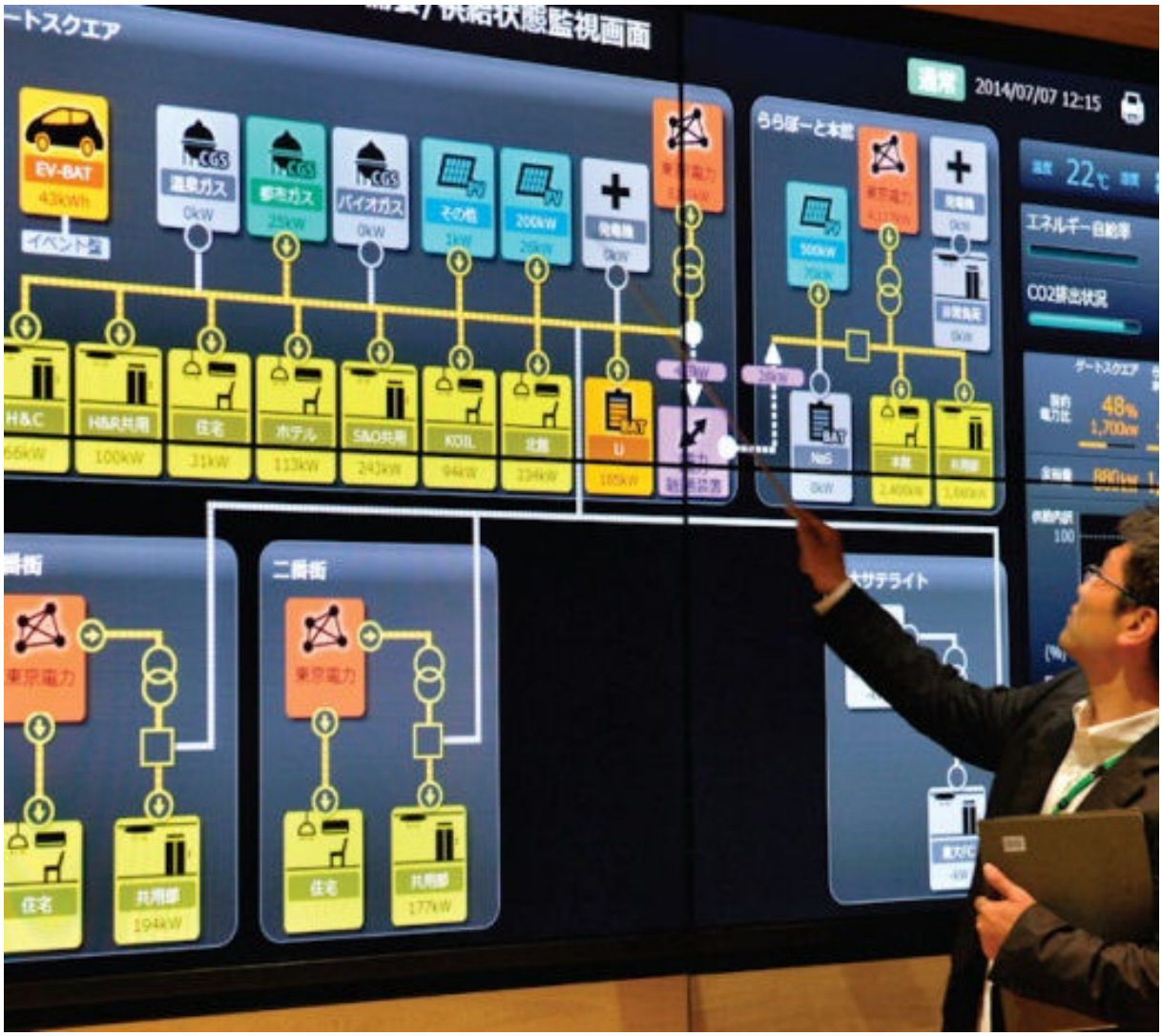
نماذج الأعمال والنماذج الاقتصادية المتكاملة. تصف هذه النماذجُ كيفيةَ تقديم المؤسسات لخدماتها وجني فوائد تلك الخدمات (مثل النقل، واستهلاك الطاقة، وتحصيل الرسوم)؛ إذْ يجب أن تكون هذه النماذج مصممة لدعم تطوير المدينة.

لاحظ أن تسمية "المدينة الذكية" ليست شعارًا تسويقيًّا. فالمدينة تكون "ذكية" حين توفّر كفاءةً أفضل للتخطيط الحَضَري باستعمال مجموعةٍ متنوعة من التقانات. تعرَّف المدن الذكية أيضًا، وفقًا لما ذكره أنتوني تاونسند (Anthony Townsend) في كتاب *المدن الذكية* (W.W. Norton وشركاه، 2014)، بأنها "أماكن تكون فيها تقانة المعلومات مدموجةً في البِنية الأساسية، والبنيان، والأشياء اليومية، وأجسامنا، للتصدي للمشاكل الاجتماعية والاقتصادية والبيئية". واقترح البرلمانُ الأوربي[3] التعريف الآتي: "المدينة الذكية هي مدينة تسعى لمعالجة المشاكل العامة بواسطة الحلول المعتمدة على تقانة المعلومات والاتصالات (ICT)، على أساسِ شراكةٍ قائمةٍ على البلدية وأصحابِ المصلحة المتعددين". هذا التعريف واسع جدًّا، ويشمل عدةَ حقول، في حين أن التعريف الياباني هو أكثر تحديدًا، إذْ يركِّز على الطاقة، والبِنية الأساسية، وتقانة المعلومات والاتصالات، ونمط الحياة. نستنتج من هذه التعريفات أن تقانة المعلومات والاتصالات تؤدي دورًا محوريًّا في تطوير المدينة التي يمكن أن تتكيف مع احتياجات مواطنيها. إذْ برفعِ شأنِ منظوماتِ الطاقة المتقدمة، والتشبيك،

[1] area.htm_http://www.artemis-ioe.eu/ioe_consortium

[2] Energy.pdf_content/Marketing/Brochure_Internet_of_http://www.bdi.eu/BDI_english/download

[3] http://www.smartcities.at/assets/Publikationen/Weitere-Publikationen-zum-Thema/mappingsmartcities.pdf



يدقِّق المشغِّل في لوحة التحكم في الطاقة الكهربائية لمشروع المدينة الذكية في كاشيوا، اليابان، يوم 7 تموز (يوليه) 2014.

وتقانات الاتصالات، تسعى المدينة الذكية لتعزيزِ حياةِ مواطنيها واستمثال الاستفادة من الموارد المحلية والاقتصادية، والبيئية. إنّ المدن الذكية تَعِدُ بفوائد متعددة:

السلامة والأمن. وهذا يتضمن كاميراتِ مراقبة، وخدماتٍ محسَّنة للاستجابة للطوارئ، ورسائلَ مؤتمَتة لتنبيه المواطنين؛ يجب أن تكون المعلومات في الزمن الحقيقي عن المدينة متاحة؛

البيئة والنقل. وهذا يستلزم مستوياتِ تلوثٍ خاضعةً للرقابة، وأضواء ذكية للشوارع، وقواعد للتحكم في الازدحام، وحلول جديدة للنقل العام لتقليل استعمال السيارات؛

إدارة الطاقة المنزلية. وتشمل خياراتُها فواتيرَ الطاقة في الوقت المناسب، والإدارةَ المثلى للطاقة، التي ربما تحقق اقتصادًا يَبلغ 30٪–40٪ في فواتير الكهرباء؛ تقدِّر المفوضية الأوربية أنّ 72٪ تقريبًا من مستهلكي الكهرباء الأوربيين سيكون لديهم عدّادات ذكية بحلول عام 2020؛

المرافق التعليمية. هناك حاجة لمزيدٍ من الاستثمارات لتحسينِ فرصِ التعليم للجميع، والتعلمِ مدى الحياة، والتعليمِ بواسطة تقانات التعلم عن بعد، والتجهيزات الذكية في الصفوف الدراسية؛

السياحة. إنّ الحفاظ على الموارد الطبيعية للمدينة يعزِّز نموَّ السياحة؛ وإضافة إلى ذلك، توفِّر التجهيزات الذكية النفاذَ المباشر والمحلي إلى المعلومات؛

صحة المواطنين. يمكن أن يحسِّن استعمالُ التقانات الجديدة صحةَ الناس؛ فالمواطنون بحاجة إلى النفاذ التام إلى رعايةٍ صحيةٍ عالية الجودة وبأسعار معقولة، فتقانةُ الشبكة اللاسلكية لمنطقة –وتتضمن مُجِسّاتٍ موصولة إلى الجسم أو الملابس ومزروعةٍ تحت الجلد– يمكنها تحصيل المعلومات الصحية (مثل ضربات القلب، وسكر الدم، وضغط الدم)، وإرسالها في الزمن الحقيقي أو مفصولًا عن الخط بواسطة الهاتف الذكي إلى المخدمات البعيدة المتاح النفاذ إليها للمتخصصين في الرعاية الصحية لأغراض المراقبة أو العلاج.

وبرغم هذه الإمكانات، يجب فهم العديد من العناصر وتأمّلها قبل أن تتمكن المدن من جني الفوائد. سنصِف هنا بعض المفاهيم الأساسية والبنيانية للمدن الذكية، ومنها إدارة الطاقة (ISO 50001)، والمنازل الذكية، وشبكاتِ المَرْكبات، وشبكاتِ الكهرباء الذكية، وجودة الحياة (ISO 37120). ثم نَدْرس مشاريع المدينة الذكية الأخيرة في جميع أنحاء العالم، محددين بعضَ التحديات وفرصَ البحث المستقبلية. ثم نسلِّط الضوء أيضًا على بعض المخاطر التي أُدخلت مع نظم المعلومات في البيئة الحضرية.

التنجيز والنشر

يتطلب تصميمُ المدن الذكية ونشرُها خبراءَ من حقول متعددة، تتضمن الاقتصادَ، وعلمَ الاجتماع، والهندسةَ، وتقانةَ المعلومات والاتصالات، والسياسةَ والتنظيم. اقترح كلٌّ من الصناعة والمصادر الأكاديمية أطرَ عملٍ متنوعة تَصِف بنيانَ المدن الذكية. وأحدُ أكثرِ النماذج المنتشرة والمعتمَدة على نطاق واسع هو النموذجُ المرجعي الذي اقترحه المعهدُ الوطني الأمريكي للمعايير والتقانة (U.S. NIST). تُعَدّ المدنُ الذكية منظوماتٍ معقدة، وغالبًا ما تسمى "منظوماتِ المنظوماتِ"، وتتضمن الناسَ، والبِنية الأساسية، والمكونات الإجرائية (انظر الشكل 1). تتكون أكثر المدن الذكية من ستة مكونات: الحكومة، الاقتصاد، التحركية، البيئة، المعيشة، الناس. قال قسم السياسة البرلمانية الأوربية في عام 2014 إنّ 34٪ من المدن الذكية في أوربا لديها مكون واحد فقط من مثل هذه المكونات.

وجرى اقترح مناهج وطرائق متعددة لتقييم المدن الذكية من وجهات نظر متعددة، ومنها منظومة إنترنت الأشياء الحضرية (urban IoT) للمدن الذكية، والاستدامة، والأداء الشمولي للمدينة، والبيئات الحضرية المستقبلية، والقدرة التنافسية الحضرية، والقدرة على الصمود. لكنّ العديدَ من المكونات البنيانية الأساسية يجب أن تكون موجودة لجعل المدينة ذكية.

المكونات الهامة. تشمل الأساساتُ القاعدية للمدينة الذكية خمسةَ مكونات:

البِنية الأساسية العريضة النطاق. هذه البِنية الأساسية محورية، وتقدم التوصيلية للمواطنين والمؤسسات والمنظمات. ومع ذلك، تَفتقر الإنترنت الحالية إلى الحصانة اللازمة لدعم خدمات المدن الذكية والحجوم الكبيرة لمعطياتها. وتشمل كلّا من الشبكات السلكية واللاسلكية. إنّ النطاق العريض اللاسلكي مهم للمدن الذكية، وخاصةً بوجود النموِ الهائل لتطبيقات المحمول وشعبيةِ وتوصيليةِ التجهيزات الذكية.

الشكل 1. نموذج المدينة الذكية.

الخدمات الإلكترونية. يقتضي مفهوم "الخدمات الإلكترونية" استعمال تقانة المعلومات والاتصالات في تقديم الخدمات، ويتضمن المبيعاتِ، والزبون، والخدمة، والتسليم. إنّ شبكة الإنترنت هي اليوم أهم وسيلة لتقديم الخدمات الإلكترونية (مثل السياحة، وبيئة المدينة، والطاقة، والنقل، والأمن، والتعليم، والصحة). ثَمة مبادرة بحثية للاتحاد الأوربي (تسمى إطار عمل الابتكار H2020) تركِّز على تطوير مثل هذه الخدمات الإلكترونية؛

المعطيات الحكومية المفتوحة. تعني المعطيات الحكومية المفتوحة (OGD) أنه يمكن لأي شخص أن يستعملها بِحُرّية، ويعيد استعمالها، ويعيد توزيعها. أُطلقت مبادرةٌ متعددة الجنسيات لتعزيز اعتماد OGD في جميع أنحاء العالم في عام 2012، ويساهم فيها كلٌّ من مبادرة مايكروسوفت للمعطيات المفتوحة، ومنظمة التعاون والتنمية الاقتصادية، ومبادرة الولايات المتحدة للمعطيات المفتوحة (http://www.data.gov).

يمكن رؤية المدينة الذكية باعتبارها مولِّدًا لمعطياتٍ مفتوحة. ثَمة أسئلة تتعلق بالتنجيز، منها: كيف يمكننا الفرز والتصفية بكفاءةٍ للمعطيات التي يجري توليدها؟ ومن هم المالكون القانونيون للمعطيات؟ وما هي القيود المفروضة على المعطيات؟ يمكن أن يكون التنقل في OGD ذا صلةٍ بعوائق المعطيات المفتوحة على تعقيدِ المهام وجودة المعلومات. في حال المعطيات OGD، لا يوجد تفسير لمعنى المعطيات، ويَصعب اكتشاف المعطيات المناسبة. وغالبًا ما يجري تكرار

المعطيات، وتكون مصاغاتُ المعطيات ومجموعاتُ المعطيات، على حد سواء، غالبًا معقدةً أكثر من اللازم للتعامل معها للبشر وحتى للآلات. في عام 2015، نُشرتْ القواعد الناظمة للمَعْيَرة UNE178301 الإسبانية لمساعدة المدن على تقييمِ نُضجِ مشاريعِ المعطيات المفتوحة الخاصة بها، وذلك بالاعتماد على خمس خصائص لمعطياتهم: سياسية، قانونية، تنظيمية، تقنية، اجتماعية. سوف يكون للمعطيات OGD تأثير إيجابي كبير في الخدمات المقدمة للمواطنين، وهذا ما يحسِّن معيشتهم اليومية. في هذا السياق، يمكن أن تَدعم المعطياتُ المفتوحة المترابطة (LOD) تحليلَ التنقيب في المعطيات المعقدة والمتعددة التخصصات الهندسية. [12] إنّ المعطياتِ LOD معقدة لأن المعطيات التي تُرى بمعزلٍ قد تكون غير ذات صلة ولكن عند تجميعها من مصادر مختلفة يمكن أن تسفر عن نتائج أكثر غنىً بالمعنى وعن رؤى جديدة. تُستعمل المعطياتُ LOD في تطبيقات المعطيات المترابطة في المكتبات لإنشاء معطياتِ مكتبةٍ مترابطةٍ شموليًّا، وتطبيقاتِ المعطيات المترابطة في الطب الحيوي لبناء أنطولوجياتٍ مرجعيةٍ قابلةٍ للتشغيل البيني متعامدةٍ، وتطبيقاتِ المعطيات الحكومية المترابطة لتحسين الإجرائيات الإدارية الداخلية.

البِنى الأساسية المستدامة. تقول اللجنة الكهرتقنية الدولية (IEC) يجب على المدن التي تهدف إلى التطور إلى مدن ذكية أن تبدأ بثلاثٍ من ركائز الاستدامة: الاقتصادية، والاجتماعية، والبيئية. من بين الخطوات الأولى في تناول الاستدامة: زيادة كفاءة الموارد في كل الميادين (مثل الطاقة، والنقل، وتقانة المعلومات والاتصالات). إنّ البِنية الأساسية لتقانة المعلومات والاتصالات ذات الكفاءة والاستدامة هي عامل جوهري لإدارة تطوير المنظوماتِ الحضرية. وقد أوضحَ Adepetu وآخرون كيف يَعمل نموذجُ تقانة المعلومات والاتصالات وكيف يُستعمل في التخطيط المستدام للمدن. ولتحقيق بِنيةٍ أساسيةٍ مستدامةٍ لتقانة المعلومات والاتصالات، عرّفوا مؤشراتٍ متنوعة للأداء الأخضر لاستعمالِ موارد تقانة المعلومات والاتصالات، ودورةِ حياة التطبيق، وتأثيرِ الطاقة، والأثرِ المنظِّم.

إدارة إلكترونية للحكومة (e-governance). يركِّز هذا المكون على أداء الحكومة باستعمال وسطٍ إلكتروني لتسهيلِ إجرائيةٍ فعّالةٍ وسريعة وشفافة لِنشر المعلومات للعموم، وأيضًا لأداء نشاطات إدارية. يتألف نظام الحكومة الإلكترونية من ثلاثة مكونات: حكومة–إلى–مواطن، حكومة–إلى–أعمال، حكومة–إلى–حكومة. تتيح الحكومة الإلكترونية للمواطنين أداءَ مسؤولياتهم المدنيّة والاجتماعية بواسطة بوابة الوِب. يتصاعد في أنحاء العالم عدد الحكومات التي تَنشر تقاناتِ الوِب 2.2، أو ما يشار إليه ببنيان "الحكومة الإلكترونية 2.0"، التي تربط بين المواطنين والشركات والمؤسسات الحكومية في شبكة سَلِسَة من الموارد والقدرات، وتبادل المعلومات.

التقانات الأساسية. يُقحِم تصميمُ المدن الذكية وتنجيزُها أيضًا عددًا من التقانات:

الحوسبة المنتشرة في كل مكان. تشمل التجهيزاتُ المنتشرة في كل مكان *Ubiquitous* تلك التجهيزاتِ غير المتجانسة التي تتصل فيما بينها مباشرةً بواسطة شبكاتٍ غير متجانسة. يَدرس برنامجُ بحوث التفاعلات الحضرية[4] في جامعة أولو، بمدينة أولو بفنلندا، الحوسبةَ الحضرية، والتفاعل بين المناطق الحضرية، والبشر، وتقانة المعلومات، والمعلومات. [8, 18] لقد وصَف Ferreira [8] كيفيةَ بناءِ التطبيقات الواعية للسياق، وجمعِ المعطيات، ودراسةِ السلوك البشري. ولدعم البيئة الذكية والمنتشرة في كل مكان، قال Lee [13] ينبغي أن تعزَّز البِنى الأساسية للاتصالات لتوفيرِ فهمٍ أفضل للشبكات والخدمات والمستعملين وتجهيزات المستعملين وتقديم روابط نفاذ متنوعة. حدَّد Lee [13] أيضًا ستَّ قدراتٍ

[4] Open Ubiquitous Oulu; http://www.ubioulu.fi/en/home

ووظائفَ للشبكات الذكية المنتشرة في كل مكان، تتضمن الوعي للسياق، الوعي للمحتوى، قابلية البرمجة، إدارة الموارد الذكية، إدارة الشبكة المستقلة ذاتيًّا، إمكان الانتشار في كل مكان.

المعطيات الكبيرة. لا يمكن للأدواتِ التقليدية لإدارةِ قواعد المعطيات والتطبيقات التقليدية لمعالجة المعطيات معالجةَ كميةِ معلوماتٍ ضخمة كهذه. ذلك أن المعطيات الآتية من مصادر متعددة (مثل رسائل البريد الإلكتروني، والفيديو، والنص) تكون موزَّعة في نُظُمٍ مختلفة. ويُعَدّ نسخُ كل تلك المعطيات من كل نظام إلى موقعٍ مركزي للمعالجة غيرَ عملي لأسباب تتعلق بالأداء. وإضافة إلى ذلك، فإن المعطيات غير منظَّمة. إنّ نشرَ الآلاف من المُحِسّات والتجهيزات في المدينة يَطرح تحدياتٍ كبيرة في إدارة المعطيات الكبيرة التي تولدها، ومعالجتها، وتفسيرها. المعطيات الكبيرة، [10] التي تجسِّد خصائصَ مثل الحجم، والتنوع، والسرعة، هو مصطلحٌ واسع للمعطيات الكمية المعقدة التي تتطلب أدواتٍ وتقانات متقدمةٍ لتحليلِ المعلومات المفيدة واستخلاصها. ويجب في هذا الصدد التصدي لعدة تحديات، منها: التحصيل، والتخزين، والبحث، والمعالجة، والتحليل، والإظهار. وهناك حاجة أيضًا إلى بِنيةٍ أساسيةٍ قابلةٍ للتصعّد للتحليلات بغيةَ تخزينِ كمياتٍ ضخمةٍ من معطياتٍ غير منظَّمة، وإدارتِها، وتحليلِها. يمكن للمدن الذكية استعمالِ تقاناتٍ عتاديةٍ وبرمجيةٍ متعددةٍ لمعالجةِ المعطيات الكبيرة التي يجري توليدها، وتتضمنُ: بنياناتِ نظمٍ متوازية (مثل النظم العالية الأداء باعتماد الحشود، والمنصاتِ السحابية)، ونُظُمَ ملفاتٍ متوازيةً ووسائلَ دخل/خرج متوازيةً (مثل نُظُمِ الملفات المتوازية لتخزين المعطيات الكبيرة، وقواعدِ معطيات NoSQL للمعطيات الكبيرة)، وتقاناتِ برمجة (مثل نماذجَ برمجةٍ منخفضة المستوى، وبرمجة متوازية هيكلية skeletal، وبرمجة متوازية عامة (generic))، وإدارةَ معطيات في ذاكرةٍ متعددة المستويات، وجدولةً هرميةً للمهام. [15]

التشبيك. تمكِّن تقانات التشبيك من اتصال التجهيزات بالناس اتصالًا موثوقًا فيما بينهم. وقد نُشر العديدُ من تقانات التشبيك اللاسلكي، ومنها تحديد الترددات الراديوية (RFID)، ZigBee، بلوتوث، مع كونها محدودة بعدد التجهيزات التي يمكن أن تدعمها، جنبًا إلى جنب مع تدفق هذه التقانات ومجال إرسالها. ثَمة تقانات لاسلكية جديدة (مثل WiMAX وLong-Term Evolution) غير مناسبة بسبب استهلاكها العالي للطاقة. بيد أن تقانة الواي فاي من Novel (مثل ما تقدمه المجموعة IEEE 802.11ah Task Group) يمكن أن تكون حلًّا فعالًا في مجال خدمات المدينة الذكية [11]. الغرض من IEEE 802.11ah هو المساعدة على تصميمِ بروتوكولٍ مُجْدٍ في استعمال الطاقة يَسمح للآلاف من التجهيزات في الأماكن المغلقة وفي الهواء الطلق من العمل في المنطقة نفسها، ويوفر مجال إرسال حتى 1 كم عند قدرة إرسال مغتفَلة (default) تبلغ 200 ميغاواط (mW). [11]

إنترنت الأشياء IoT. إنّ أحد الأهداف الرئيسية لإنترنت الأشياء هو جعلُ الإنترنت أكثر غمرًا وانتشارًا (immersive and pervasive). إنّ تقانة IoT، بوصفها شبكةً من التجهيزات القوية الاتصال فيما بينها، تَصلح لمجموعة من التجهيزات غير المتجانسة (مثل المُحِسّات، وأمارات RFID، والهواتف الذكية). ثَمة أشكال متعددة من الاتصالات ممكنة بين مثل هذه "الأشياء" والتجهيزات. ويجب أن تكون إنترنت الأشياء مصمَّمة لدعمِ رؤيةٍ للمدينة الذكية من حيث الحجم، والمقدرة، والوظائف، وتتضمن مراقبة الضجيج، والازدحام المروري، واستهلاك المدينة للطاقة، والعدادات الذكية لأماكن وقوف السيارات ولوائحها الناظمة، والإضاءة الذكية، والأتمتة، وسلامة المباني العامة. [11] يجب أن تَستغل أكثر تقانات الاتصالات تقدمًا، لتدعم بذلك تقديم خدمات ذات قيمة مضافة لإدارة المدينة والمواطنين.

الحوسبة السحابية. تَسمح الحوسبة السحابية بالنفاذ الشبكي إلى موارد الحوسبة المشتركة، والقابلة للتشكيل، والموثوقة. تُعدّ السحابة بيئةً للموارد التي يجري تشكيلها ديناميكيًّا، تَجمع منصاتِ اختبار، وتطبيقاتٍ صغيرة (applets)، وخدماتٍ في نماذجَ محددةٍ حيث يتطلب التفاعل الاجتماعي بين الناس خدمات كهذه؛

البنيانات الموجَّهة بالخدمات (SOAs). بنيان SOA هو مبدأ لهيكلة البرمجيات باعتماد الخدمات. يجب أن يركِّز تطوير المدينة الذكية على بنيانات تصميمٍ باعتماد SOA لمواجهة تحديات ذاك التصميم. لذا تتطلب المدينة الذكية بِنيةً أساسيةً جديدةً لتقانة المعلومات، من منظورٍ فني وتنظيمي على حد سواء.

بنيانات الأمن السِبراني. تسبب المدنُ الذكية تحدياتٍ للأمن والخصوصية للمواطنين والحكومة على حد سواء. تمتد المشكلات الأمنية المرتبطة بالمعلومات التي تُنتَج في المدينة الذكية لتشمل العلاقات بين المواطنين وسلامتهم الشخصية. بعض المدن الذكية تواجه سلفًا خداعَ الهوية، والعبثَ بالمعطيات، والتنصتَ، والرمازَ الخبيث، ونقصًا في مُتاحِية الخدمات الإلكترونية. ومن بين التحديات الأخرى ذات الصلة: قابلية التصعد، والتنقل، والنشر، وقابلية التشغيل البيني (لتقاناتٍ متعددة)، والمسائل القانونية، والموارد، والتلبث. تحتاج البِنى الأساسية العظيمة الشأن إلى الحماية من الهجمات التي يمكن تسبب الشلل لقدرة المدينة على العمل أو تُلحق أضرارًا جسيمةً بها، من خدمات المنشآت الصناعية إلى الخدمات الأساسية، ومنها النفاذ إلى الكهرباء والماء والغاز. يمكن للمهاجمين الذين يستغلون مواطن الضعف في منظومات التحكم الصناعية (مثل منظومات التحكم المراقِب وتحصيلِ المعطيات (SCADA)، التي تديرها) أن يسببوا عطلًا كبيرًا في توصيل الخدمات. في الشبكات المرتجَلة الخاصة بالمركبات (VANETs)، يوصي المعيار 2013-1609.2 باستعمال الاستيقان (authentication) بأسماء مستعارةٍ لحماية خصوصيةِ الموقع للمركبات. وإنّ من شأنِ إضافةِ طبقاتٍ أمنية (مثل VANETs، SCADA، شبكات المحمول) بطريقةٍ مستقلة أن يجعل بنيانَ المدينة الذكية معقدًا جدًّا. ولذلك، تتطلب المدينة الذكية بنيانَ أمنٍ سِبراني بالتصميم.

المشاريع وجهود المَعْيَرة

وَجَّه العديد من المدن مشاريعَ المدن الذكية التابعة لها بنفسها؛ انظر الجدول 1 وفيه تطورات محدَّدة للمدن الذكية في آسيا، وأوربا، وأمريكا الشمالية.

تدخِل المدنُ الذكية خدماتٍ رقميةً بوصفها جزءًا من البيئة الصالحة للمعيشة والمستدامة لمواطنيها. لكنْ إلى جانب فوائدها، تأتي مجموعة من المسائل الجديدة، على سبيل المثال، المعطيات المفتوحة وقابلية التشغيل البيني لصانعي السياسات، والشركات، والمواطنين على حد سواء. تحتاج المدن إلى مؤشراتٍ لتقييم الأداء لقياس مقدار التحسين الذي يمكن أن تُحْدِثه في جودة الحياة والاستدامة. غالبًا ما تفتقر مؤشرات تقييم الأداء إلى المعيرة، أو الاتساق، أو قابلية مقارنةِ مدينةٍ بمدينة أخرى. يجري تطوير سلسلةٍ من المعايير الدولية لتوفيرِ نهجٍ شامل ومتكاملٍ للتنمية المستدامة والقدرة على الصمود في إطار المعيار ISO/TC 268 (معيار المدن والمجتمعات المحلية المستدامة).

يضع المعيار ISO 37120 مجموعةً من مؤشرات تقييم الأداء المعيارية التي توفر منهجًا موحَّدًا لما يُقاس ولكيفية إجراء ذاك القياس. يعرِّف الاتحادُ الدولي للاتصالات (ITU) مؤشراتِ أداءٍ رئيسيةٍ متنوعة للمدن الذكية المستدامة بالمعيار ISO/TR 37150 وذلك لـ: الاستجابة للحرائق والطوارئ، والصحة، والتعليم، والسلامة، والنقل، والطاقة (النسبة المئوية لسكان المدينة الذين لديهم السماح بالنفاذ إلى الخدمة الكهربائية)، والمياه (النسبة المئوية لسكان المدينة الذين لديهم خدمة

الإمداد بمياه الشرب)، والعدالة الاجتماعية، والتقانة والابتكار (مثل عدد وصلات الإنترنت لكل 100,000 شخص)، ومستوياتِ ثنائي أكسيد الكربون CO_2 واستراتيجيات الحد منه، والمباني (مثل استهلاك الطاقة للمباني السكنية). واقترحت شركة فوجيتسو (Fujitsu) أيضًا مؤشرَ أداءٍ لتقانة المعلومات والاتصالات في المدن الذكية، يَستعمل عوامل مثل: الأثر البيئي للمدينة، نسبة الطاقة المتجددة إلى إجمالي الطاقة المستهلكة، معدل انقطاع التيار الكهربائي في المجتمع.

إنّ بعض أنواعِ طرائق قياسِ الأداء (benchmarking) ذو صلة بمقارنة المدن الذكية. جرى اقتراح طرائق متنوعة لقياسِ الأداء في عام 2014 لمثل هذه المقارنة. على سبيل المثال، حلَّل Pires وآخرون [19] مبادرةً برتغالية تَستعمل مؤشراتٍ مشترَكة لقياسِ أداءِ مستوى التنمية المستدامة لـ 25 مدينة وبلدية برتغالية.[5] يمكن استعمال أداةِ تقييمِ المدينة الذكية التي ابتكرتها شركة IBM لقياس أداء المدينة وفق مؤشراتِ كل منظومةِ مدينة ذكية. تعيّن هذه الأداةُ الفرص للتحسين عن طريق تقييم فعالية المكونات، أخذًا بالحسبان درجة الحداثة، وانبعاثات ثنائي أكسيد الكربون، وإدارة طاقة المدينة. يَستند هذا التحليل إلى مؤشراتٍ متعددةٍ لقياس الوضع الراهن وإمكانِ تحسين المدينة على صعيد المكونات التالية للمجتمع المدني: الحياة المدنية (درجة الحداثة، والسلامة العامة، والتعليم، والإسكان)؛ الحياة الاقتصادية (استراتيجية جذب الأعمال والخدمات الموصولة بالخط للأعمال)؛ وقابلية التحرك والنقل (الشبكات اللاسلكية والبِنى الأساسية للاتصالات)؛ إدارة الطاقة (معدل إنتاج الطاقة المتجددة، والقياس الذكي للطاقة، وانبعاثات ثنائي أكسيد الكربون)؛ وإدارة المياه (جودة المياه والقياس الذكي للمياه)؛ وخدمات المدينة. وثَمة أداة أخرى للمدينة الذكية، ابتكرها Boyd Cohen[6] من جامعة Desarrollo في تشيلي، تَشمل البيئة، وقابلية التحرك، وإدارة الحكومة (governance)، والاقتصاد، والناس، ومكونات المعيشة (مثل الصحة والسلامة ومستوى الثقافة، والسعادة).

الجدول 1. مشاريع المدن الذكية في جميع أنحاء العالم.

الشركاء	خصائص المدينة الذكية	الغايات	المدة	التمويل	المشروع/الموقع
معهد طوكيو للتقانة، توشيبا، ميتسوبيشي، هيتاشي	بيئة ذكية، معيشة ذكية	مدينة منخفضة الكربون، منظومات إدارة هرمية للطاقة (EMS)، حساسة، توليد خلايا كهرضوئية (PV) حسّاسة	2010–2015	وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة (METI)	مشروع المدينة الذكية في يوكوهاما[a]، اليابان
جامعة Nagoya، مدينة تويوتا، فوجتسو، هيتاشي، شركة تويوتا للمحركات، شركة Chubu للقدرة الكهربائية	تحركية ذكية، بيئة ذكية	توليد الطاقة الكهرضوئية، منظومات نقل ذكية، منظومات إدارة هرمية للطاقة EMS، 61.2٪ من الطاقة المتجددة، 4000 سيارة من الجيل القادم	2010–2015	METI	الحياة ذات قابلية التحرك والطاقة الذكية في مدينة طوكيو[b]، اليابان

[5] المدن الذكية، البرتغال؛ http://www.inteli.pt/uploads/documentos/documento_1400235009_2055.pdf

[6] smart-city-index-master-indicators-survey/http://smartcitiescouncil.com/resources

كيوتو، كيزوغاوا، كيوتانب، فوجي للكهرباء، مركز كيوتو للأعمال المناخية، ميتسوبيشي	بيئة ذكية	تطوير منظومات EMS مجتمعية للحد من انبعاثات CO_2، واتصال عربة إلى البِنية الأساسية، واتصال عربة إلى عربة	2010–2015	METI	مشروع الجيل القادم من الطاقة والأنظمة الاجتماعية للمدينة البيئية في كيهانا[c]، اليابان
شركة تويوتا للمحركات، IBM اليابان، شركة خدمات المعلومات والاتصالات اليابانية، ميتسوبيشي للصناعات الثقيلة	تحركية ذكية، بيئة ذكية	مشاركة المواطنين والشركات في عمليةِ توزيع الطاقة، وتوليد الطاقة الكهرضوئية، وإنشاء بِنية أساسية للشحن، ومنظومات حركة المرور من الجيل التالي (دراجات ووسائل نقل عامة)	2010–2015	METI	مشروع[d] المجتمع الذكي، Kitakyushu، اليابان
مؤسسات بحثية: VTT (فنلندا)، AIT (النمسا)، TNO (هولندا)، خَمس مدن شريكة: روتردام، تامبير، فيينا، زاغرب، زاراغوزا	تحركية ذكية، بيئة ذكية، معيشة ذكية، ناس أذكياء	تطويرُ مؤشراتِ الأداء الرئيسية وإجراءاتِ جمع المعطيات للمدن الذكية، والتحقق من صحتهما، وتبادل أفضل الممارسات بشأن خصوصية المستعمل والقضايا التشريعية الأخرى بين المدن	2015–2017	مشروع H2020، الاتحاد الأوربي	CITYKEYS،[e] الاتحاد الأوربي
مخبر المدينة ذات المُجسّات في معهد MIT، مبادرة بحوث التحركية الحضرية في المستقبل، مجموعة مطار شانغي، ComfortDelGro، NEA، PSA، خدمات SP، SingTel	معيشة ذكية، ناس أذكياء	تطوير منصةٍ مفتوحة لجمعِ المعطيات في الوقت الحقيقي وتفصيلها وتوزيعها، الخاصة بالأنشطة الحضرية: تتبع حركة سير العربات، وارتفاع درجة الحرارة المقدَّرة، واستهلاك الطاقة، وعمليات سيارات الأجرة	2011–2016	مؤسسة البحوث الوطنية في سنغافورة	مشروع سنغافورة الحية[f]، سنغافورة
Telefonica I+D (اسبانيا)، جامعة لوبيك (ألمانيا)، أريكسون (صربيا)، الكاتيل–لوسنت (إيطاليا)، جامعة الكسندرا A/S (الدانمارك)	معيشة ذكية، بيئة ذكية	نشر 20,000 مُجسًّا في مدن بلغراد، وغيلدفورد، ولوبيك، وسانتاندر، لاستغلال تقاناتٍ متعددةٍ لجمع المعلومات عن أماكن وقوف السيارات، ووسائل النقل العام، والإدارة الآلية للإشارات الضوئية. وتَستعمل حاليًّا 2000 تجهيزةٍ IEEE 802.15.4	2010–2013	الاتحاد الأوربي	Smart Santander[g]، أوربا
معهد فراونهوفر فوكوس (ألمانيا)، ATOS (اسبانيا)، قسم الاقتصاد لمجلس الشيوخ الحكومي في برلين، قضايا التقانة والمرأة (ألمانيا)، معهد الاتصالات (فرنسا)، NESTA (UK)	إدارة ذكية للحكومة	استكشاف كيفية تنجيز منهجيات الابتكار المفتوحة والموجهة نحو المستعمل في القطاع العام في المدن الأوربية، ومنها أمستردام وبرشلونة وبرلين وبولونيا وهلسنكي وباريس وروما	2011–2013	الاتحاد الأوربي	مشروع المدن المفتوحة[h]، أوربا

Cofely، Alliander، ABB، شركة ميتسوبيشي للمحركات، مدينة أمستردام الذكية، جامعة أمستردام للعلوم التطبيقية	تحركية ذكية، بيئة ذكية	تسليم خازنات المعطيات المفتوحة الأوربية	2014–2017	التحالف الأعلى على المعرفة والابتكار: التحول إلى شبكات الكهرباء الذكية Switch2SmartGrids	من العربة إلى شبكة الكهرباء (Vehicle2Grid)[i]، هولندا
27 فريق بحث علمي [k]	تحركية ذكية، بيئة ذكية	استعمال البطاريات في السيارات الكهربائية لتخزين الطاقة المنتَجة محليًّا	—	رعاية الشركات، تمويل صناعي، مؤسسة العلوم الوطنية، وكالة مشاريع البحوث المتقدمة للدفاع، المعاهد الوطنية للصحة	مبادرة علوم المدينة[j]، MIT/U.S.
جامعات، شركات خاصة، وكالات إقليمية	تحركية ذكية، بيئة ذكية	اكتساب فهمٍ علمي للمدن: التحليلات الحضرية، والإدارة الذكية، وشبكات التحركية، والشبكات الإلكترونية والاجتماعية، وشبكات الطاقة. توليد وظائف تقنية نظيفة، والحد من استعمال الطاقة بنسبة 50٪، وتوليد الطاقة بنسبة 100٪ من مصادر الطاقة المتجددة، وإعادة استعمال المياه، وتركيب تجهيزات إضاءة بدون انبعاثات، وجَعل 100٪ من العربات العامة تعمل على الوقود البديل.	2007–2022	تمويل اتحادي ومن الدولة	مبادرة "الرؤية الخضراء"[l] سان خوسيه، كاليفورنيا

a http://www.city.yokohama.lg.jp/ondan/english/yscp/
b http://jscp.nepc.or.jp/article/jscpen/20150528/445244/
c http://jscp.nepc.or.jp/en/keihanna/index.shtml
d http://www.nedo.go.jp/content/100639530.pdf
e http://www.citykeys-project.eu
f http://senseable.mit.edu/livesingapore/
g http://www.smartsantander.eu/
h http://www.opencities.net/content/project
i http://amsterdamsmartcity.com/?lang=en
j http://cities.media.mit.edu/
k http://www.media.mit.edu/research/groups-projects
l http://www.sanjoseca.gov/DocumentCenter/View/42557

يبين الجدول 2 الخطوط العريضة لأساليب قِياس الأداء الموجهة لقياس المدن الذكية من وجهات نظر متعددة.

تعمل منظمات ومؤسسات أكاديمية مختلفة على نماذج المدينة الذكية. وكما ذكرنا في وقت سابق، تَستعمل اللجنة الكهرتقنية الدولية (IEC) ثلاثَ ركائز للاستدامة –الاقتصادية، والاجتماعية، والبيئية – لتطوير المدن الذكية. تَجمع شركة IBM التجهيزات، والترابط، والذكاء في نموذج المدن الذكية الخاص بها. يبين الجدول 3 الخطوط العريضة لبعض الجهود التي تبذلها المنظمات المختلفة.

التحديات وفرص البحث

نسلط الضوء هنا على بعض التحديات التي تواجهها المدن الذكية أثناء استكشاف فرص البحث التي تحتاج إلى مزيدٍ من الاهتمام للمساعدة على تطوير المدن الذكية واعتمادها.

الجدول 2. أدوات قياس أداء المدينة الذكية

نوع المقارنة	الوصف	أداة قياس الأداء	المرجع
كمّي	حساب نسبة مئوية واحدة جامعة لمواضيع متعددة: التعليم للتطوير البيئي المستدام، والطاقة، والمياه، والنقل، والضجيج، والزراعة، والسياحة، وحفظ الطبيعة، والبيئة البحرية والساحلية، والتنوع البيولوجي.	مؤشرات التنمية المستدامة المحلية	Pires et al.[19]
نوعي وكمّي	أداة لقياسِ أداء المدينة، وأخذِ قياسات الأداء، وتحديدِ التحديات والفرص للتحسين؛ تعتمد الأداة على مواضيع متعددة: الحياة المدنية، والحياة الاقتصادية، والتحركية والنقل، وإدارة الطاقة، وإدارة المياه، وخدمات المدينة.	أداة تقييم المدينة الذكية من IBM	IBM*
نوعي	يَعتمد هذا الإطار، الذي يأخذ وجهات نظر عملية مختلفة من دراسات الحالة في سان فرانسيسكو ومدينة سيول العاصمة، على الانفتاح الحضري، والابتكار في الخدمات، وتكوين الشراكات، والاستباق الحضري، وتكامل البِنية الأساسية للمدن الذكية، وإدارة الحكومة للمدن الذكية.	إطار عمل لبناء المدن الذكية	Lee et al.[14]
نوعي	منهج لتصميم القدرة على الصمود وتخطيطها وإدارتها، ويتضمن تقييم الديناميكية الثقافية وديناميكية الإجرائيات داخل المدن.	إطار عمل القدرة على الصمود للمدن	Desouza et al.[6]
كمّي	نظامُ تسجيلِ نقاطٍ مركَّبٍ لقياس "مؤشر ذكاء" منظومة النقل في المدينة؛ تَعتمد المؤشرات المقترحة على النقل الخاص (التنبؤ بتدفق حركة المرور، والمشاركة في معلوماتِ مواقف السيارات، ودفع الرسوم/رسوم وقوف السيارات/الغرامات الداعمة، والتحكم الآلي والمنسَّق في الإشارات المرورية)، والنقل العام (الكشف عن الركاب، وإدارة معلومات المسافرين) والنقل في حالات الطوارئ (مع قدرة عربات الطوارئ على توفيرِ إشارةٍ ذات أولوية).	قياس أداء للمدن ذات وسائل النقل الذكية	Debnath et al.[5]

* http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_cities/solutions/solution/S868511G94528M58.html

التحديات. فيما يلي أبرز التحديات التي ينبغي معالجتها.

نقص الاستثمار. يُبرِز مفهومُ المدن الذكية إمكاناتٍ قوية للاستثمار وفُرص الأعمال. فمن ناحية، ازداد في السنوات الأخيرة الاستثمار في المشاريع ذات الصلة، الذي تموله الحكومات (وتتضمن البلديات ووكالات بحوث القطاع العام) وكيانات القطاع الخاص (الشركات والمواطنين). تقول شركة Navigant للأبحاث إن الاستثمار في المدن الذكية مقسَّم إلى حكومة ذكية، أبنية ذكية، نقل ذكي، مرافق ذكية. وبحلول عام 2020، يتوقع أن يؤدي تمويل 13 مليار دولار إلى إنشاء المدن الذكية في جميع أنحاء العالم (انظر الشكل 2). ولكن وفقًا لتقرير عام 2014 لأبحاث نماذج التمويل للمدن الذكية، أفادت وكالة الأبحاث Navigant أن هذه البِنية الأساسية تواجِه عقباتٍ مالية كبرى، تتضمن المخاطر العالية المنظورة للاستثمار في الحلول المبتكرة، الشك في سياسات أسعار الطاقة، الاستثمار الرئيسي المطلوب، التأخير على المدى الطويل قبل جني الأرباح، محدودية القدرة على التمويل العام.

الجدول 3. الأعمال ذات الصلة التي تقوم بها مختلف منظمات المَعْيَرة

الوصف	أعمال ذات صلة متعلقة بالمدن الذكية	المنظمة
تخطيط أنشطة المَعْيَرة وتنظيمها في المجال المعني (مجموعة تقييم المنظومات)	الحقل التقني الكهربائي، أتمتة وسائل القدرة الكهربائية، إدارة الطاقة، إدارة توزيع (القدرة الكهربائية)	اللجنة الكهرتقنية الدولية (IEC)
إنشاء إطار عمل للمعايير بشأن المدن الذكية والمستدامة (مجموعة الدراسات الخامسة في قطاع الاتصالات بالاتحاد الدولي للاتصالات (ITU-T-SG5)	البيئة وتغيُّر المناخ*	الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU)
يتناولُ المعيارُ IEEE 2030 قابليةَ التشغيل البيني الذكي، ويتضمن الخصائص والأداء ومعايير التقييم؛ ويتناولُ المعيارُ IEEE 1901 شبكات شبكة الكهرباء الذكية، ويتضمن التعايش بين منظومات خطوط القدرة الكهربائية العريضة النطاق العاملة على خط القدرة الكهربائية نفسها؛ وتتناولُ معاييرُ إضافية (IEEE 1609.2) منظومات النقل الذكية.	شبكة الكهرباء الذكية، إنترنت الأشياء (IoT)، منظومات النقل الذكية، الصحة الإلكترونية، قابلية التشغيل البيني الذكية	منظمة IEEE
إنشاء مجموعة لتنسيقِ مَعْيَرةِ المدن الذكية والمستدامة.	المدن الذكية والمستدامة	معهد معايير الاتصالات الأوربية
إنشاء شراكة الابتكار الأوربية بشأن المدن والمجتمعات المحلية الذكية، ومشروع تصنيف المدن الذكية الأوربية**.	نقل الطاقة وتقانة المعلومات والاتصالات	المفوضية الأوربية
وضع دليلٍ لاستراتيجيات المدن والمجتمعات المحلية الذكية، ونموذجٍ مفهوميّ لمعطياتِ المدن الذكية، وإدارةِ العلاقات التعاونية.	تعريف استراتيجية المَعْيَرة	مؤسسة المعايير البريطانية (BSI)

* http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2013-2016/05/Pages/default.aspx
** http://www.smart-cities.eu/?cid=-1&ver=3

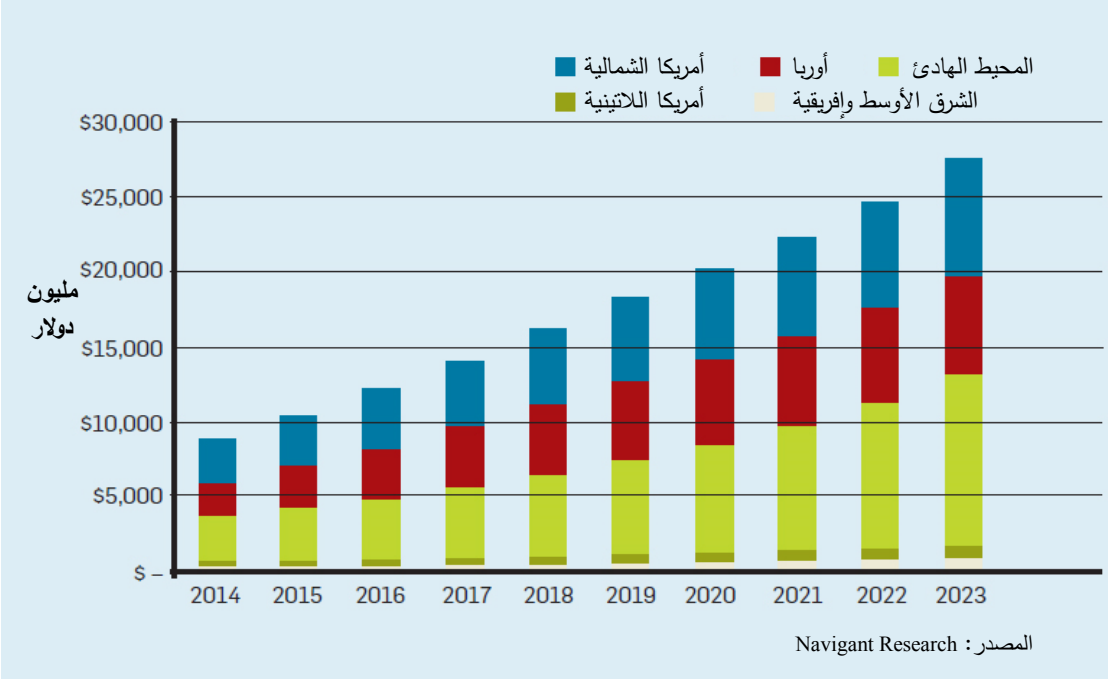
التكلفة. يخصِّص العديد من المدن ميزانياتٍ كبيرة كي تصبح أكثر ذكاء. على سبيل المثال، تستثمر المملكة العربية السعودية 70 مليار دولار أمريكي في مدينة الملك عبد الله الاقتصادية (2005–2020) بالتعاون مع شركات: أورانج لخدمات الأعمال، إريكسون، سيمنز، سيسكو، وغيرها من الشركات. وفي دبي، يتوقع أن تصبح 1000 خدمة حكومية "ذكية" في غضون سنوات قليلة. في عام 2015، بدأ جنوب إفريقية مشروعًا للمدينة الذكية[7] بقيمة 7.4 مليار دولار أمريكي لتحقيق حياد الكربون في النقل العام بحلول عام 2025. وتكلِّف منظومة الحافلات في كوبنهاغن، الدنمارك، 125 مليون يورو سنويًّا. في الهند، تَبلغ الميزانيةُ السنوية للحكومة الوطنية لتطوير 100 من المدن الذكية[8] 1.27 مليار دولار أمريكي، لإضافة 11.5 مليون منزل سنويًّا. في الاتحاد الأوربي، يُتوقَّع أن تتجاوز تكهناتِ سوق المدينة الذكية 1 تريليون دولار أمريكي بحلول نهاية عام 2016. وفي الصين، تتجاوز مخصصات المدن الذكية في المستقبل 322 مليار دولار أمريكي لأكثر من 600 مدينة على الصعيد الوطني.[9] تدل كل هذه المشاريع على كِبَر معدل الاستثمار في المدن الذكية. مع ذلك،

[7] http://www.africapropertynews.com/southern-africa/3071-construction-begins-onsouth-africa-7-4bn-smart-city.html
[8] http://smartcitiescouncil.com/article/indiabudgets-smart-infrastructure
[9] https://eu-smartcities.eu/blog/eib-eip-smartcities-financing

إذا لم يجرِ معالجة بعض التحديات (مثل الأمن السِبراني) في وقتٍ مبكر، فإن التكلفة النهائية للمدن الذكية سوف تزداد حتمًا.

استهلاك الطاقة المرتفع. تقدِّر إدارةُ معلومات الطاقة في الولايات المتحدة أن نحو 21٪ من توليد الكهرباء في العالم كان من الطاقة المتجددة في عام 2011، مع زيادة متوقَّعة إلى 25٪ تقريبًا بحلول عام 2040. ويؤدي غياب الموارد الطبيعية في تقدير استهلاك الطاقة لبقية القرن الحادي والعشرين دورًا سلبيًّا في استثمارات المدن الذكية (انظر الشكل 3). إنّ مستقبل تكلفة الطاقة والنفاذ إليها غير واضح، ويعود ذلك في المقام الأول إلى تبعيتها للمشاهد الجيوسياسية، والاجتماعية الاقتصادية، والديموغرافية المتوقعة.

المواطنون الأذكياء. يجب أن تؤخذ أيضًا الجوانب الاجتماعية بالحسبان. يَعتمد "ذكاء" المدينة كثيرًا على مشاركة المواطنين في مشاريع المدينة الذكية بواسطة أدوات الاتصالات المتعددة (مثل البوابة الإلكترونية للبلدية، والشبكات الاجتماعية، وتطبيقات الهاتف الذكي). تتطلب المدن الذكية أن يكون المواطنون على اتصالٍ فيما بينهم باستمرار –في الأماكن العامة، في وسائط النقل العامة، في المنزل– كي يتبادلوا معارفهم وتجاربهم. والغرض من ذلك هو الإدارة الفعالة للموارد الطبيعية وجودة حياة عالية للمواطنين؛ على سبيل المثال، يمكنهم مقارنة استعمالاتهم المنزلية للكهرباء، والغاز،



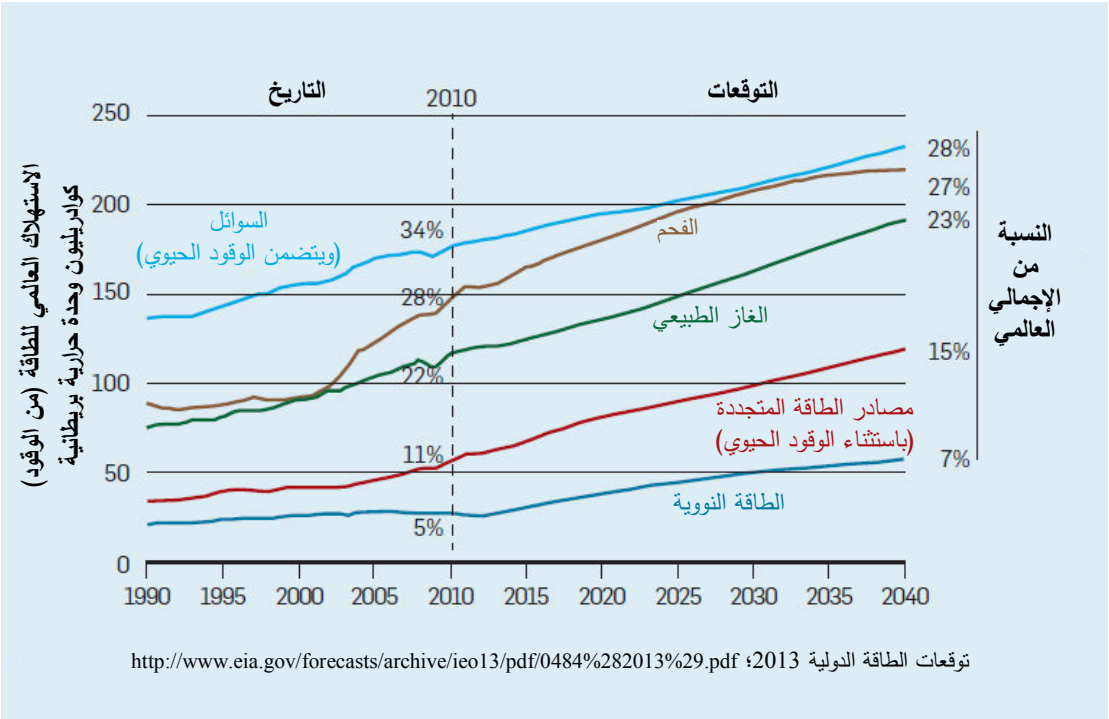
الشكل 2. الاستثمارات الصناعية في البِنية الأساسية للمدن الذكية، 2014–2023.

والمياه بواسطة هواتفهم الذكية. يُعَدّ الحفاظ على هذا الجانب الاجتماعي حفاظًا ملائمًا نوعًا من التحدي، مع أنه مَظهر حيوي من وظائف المدينة الذكية الذي، إن أُحسن استغلاله، عاد مردوده على كل من المواطنين والمدينة.

الخصوصية. سوف تؤدي الخصوصية دورًا محوريًا في أي استراتيجية للمدينة الذكية. يتفاعل المواطنون مع خدمات المدينة الذكية بواسطة هواتفهم الذكية والحواسيب المتصلة بواسطة شبكات ونُظُم غير متجانسة. ولذلك من

الضروري أن تكون المدن الذكية، التي أُسّست على استعمال تقانة المعلومات والاتصالات (ICT)، بارعة في التعامل مع مسائل الخصوصية الهامة (مثل التنصت، والسِّرية). قسِّم Domingo-Ferrer [7] الخصوصيةَ إلى ثلاثة مجالات: المستجيب، والمستعمل، والمالك. اقترح Martinez-Ballesté وآخرون [16] مفهومَ خصوصية المواطنين اعتمادًا على التحكم في الكشف الإحصائي، ويتضمن أساليب للحفاظ على سِّرية المعلومات عن الأفراد عند إطلاق معطياتهم. من أمثلة هذه الأساليب: استحضارُ المعلومات الخاصة (الحصولُ على معلوماتِ قاعدةِ معطياتٍ خاصةٍ بشخص وإخفاؤها)، التنقيبُ في المعطيات المحافظُ على الخصوصية (تعاونٌ بين كياناتٍ للحصول على نتائج دون التشارك في جميع المعطيات)، خصوصيةُ الموقع، عدمُ الكشف عن الهوية، والأسماءُ المستعارة، الخصوصيةُ في تحديد الترددات الراديوية RFID، الخصوصيةُ في المراقبة بالفيديو.

الهجمات السِبرانية. كما هو الحال مع أي بِنية أساسية، المدن الذكية معرَّضة للهجمات السِبرانية، ومساحة الهجوم الحالية للمدن مفتوحة على مصراعيها. حددت مختبراتُ IOActive عدة أسباب للهجمات السِبرانية: عدم وجود



توقعات الطاقة الدولية 2013؛ http://www.eia.gov/forecasts/archive/ieo13/pdf/0484%282013%29.pdf

الشكل 3. تقدير استهلاك الطاقة في المستقبل.

اختبار للأمن السِبراني، ضعف الميزات الأمنية أو عدم وجودها في التجهيزات المترابطة، ضعف تنجيزِ الميزات الأمنية، التعمية (خوارزميات تعميةٍ قديمة وضعيفة)، عدم وجود فِرق استجابة لطوارئ الحاسوب، مساحة هجوم كبيرة ومعقدة، مسائل تتعلق بنشر الرُّقَع (patches)، نُظُم موروثة غير آمنة، عدم وجود خطط طوارئ للهجمات السِبرانية، مَنْعُ الخِدْمَة (DOS).

حددت ورشةُ عمل[10] جرت عام 2015 عدةَ تحديات، تتضمن مواطن الضعف في نقل المعطيات، والعواقب المادية للهجمات السِبرانية، وجمع كمياتٍ كبيرة من المعطيات وتخزينها في السحابة، واستغلال المهاجِمين لمعطيات المدينة.

إنّ الكشف عن الشذوذ السلوكي في حياة الإنسان اليومية مهم جدًّا لتطوير المنظومات الذكية. يحدد الجدول 4 الخطوط العامة لبعض أُطرِ عملٍ بحثية لكشف الشذوذ، مقترحةٍ لكشف الشذوذ السلوكي في حياة الإنسان اليومية في المنزل الذكي وبيئات شبكة الكهرباء الذكية في سياق المدن الذكية. وتشمل التحديات المتعددة: توصيف سلوكِ عُقَد المُحِسّات (مثل ضبط الكشف (accuracy of detection)، ومعدل الموجب الزائف، وانخفاض التكلفة الحسابية).

الجدول 4. المنزل الذكي ونُظُم كشف التدخل في شبكة الكهرباء الذكية.

السلبيات	الميْزات	أسلوب الاكتشاف	الهجمات	المنهج
تدخل المستعمل مطلوب	ضبط (accuracy) يقدر بـ 99٪، معدل منخفض للإيجابي الزائف	شبكة بايزية ديناميكية؛ خوارزمية تقدير الاحتمالية القصوى؛ تنعيم لابلاس	شذوذ مكاني (النوم في مكانٍ غير صحيح)، شذوذ التوقيت (السير نومًا في منتصف الليل)؛ شذوذ المدة (العمل على الحاسوب مدةً طويلة). شذوذ التتالي (العمل على الحاسوب مدةً طويلة جدًّا دون تناول الطعام)	Zhu et al. [24]
جرى الاختبار على ملامح محدودة من عُقد المُحِسّات	ضبط يقدر بـ 98٪، معدل استهلاك طاقة منخفض، بساطة	باعتماد قواعد، لعدة طبقات، باعتماد المنطق الترجيحي	أخطاء إرسال، أو تعطُّل عقد، أو هجمات	Usman et al. [23]
لا توجد استراتيجيات للإصلاح	معدل كشف تدخّل مرتفع، معدل أقل من 6٪ للإيجابي الزائف	نظام كشف التدخل باعتماد قواعد سلوكية	هجمات تقوم بها تجهيزات مكشوفة في شبكة الكهرباء الذكية	Mitchell et al. [17]
وضع دليلٍ لاستراتيجيات المدن والمجتمعات المحلية الذكية، ونموذجٍ مفهوميّ لمعطياتِ المدن الذكية، وإدارةِ علاقاتٍ تعاونية	تعريف استراتيجية المَعْيَرة	مؤسسة المعايير البريطانية (BSI)	تعريف استراتيجية المَعْيَرة	مؤسسة المعايير البريطانية (BSI)

فرص البحث. تأمَّلْ الفرص البحثية المذكورة فيما يلي.

إدارة إنترنت الأشياء. تتطلب إنترنت الأشياء (IoT) بنيانًا فعالًا وآمنًا يُعزِّز حصاد المعطيات الحضرية. وكما لاحظ آخرون، فإنّ الإحساسَ المنتشر في كل مكانٍ حضري وتعاوني، المتكاملَ مع الأغراض الذكية يمكن أن يوفِّر بيئة ذكية. وإلا، فإنّ تلبث الرزم وفقدانها هو حتمًا خارج السيطرة. يتمثل أحد هذه المقترحات في بروتوكول تنسيقِ شبكات

[10] Designed-In Cybersecurity for Smart Cities Workshop, May 2015; http://www.nist.gov/cps/cybersec_smartcities.cfm

الهواتف المحمولة المرتجَلة (MANET) للاستفادة من عُقَد شبكة MANET استفادةَ انتهازية على أنها مرحِّلات متنقلة لِجمعٍ سريعٍ للمعطيات العاجلة من شبكات المُحِسّات اللاسلكية من دون التضحية بعمْر البطارية. تُظهِر نتائج المحاكاة أن البروتوكول الخاص بها لتشكيل الحشد موثوقٌ ويوصِل دائمًا أكثرَ من 98٪ من الرزم في مشاهد الشوارع والساحات. وتتطلب مسائلُ أخرى، ومنها التقارب بين إنترنت الأشياء ومنظومات النقل الذكية، مزيدًا من التحقيقات.

إدارة المعطيات. تؤدي المعطيات دورًا رئيسيًّا في المدينة الذكية. سوف تولِّد المدن الذكية كمية كبيرة من المعطيات؛ وإنّ فَهْم تلك المعطيات، والتعامل معها، ومعالجتها يُعَدّ تحديًا. ومع ذلك، يمكن أن تساعِد معطياتُ الهاتف المحمول على تحقيق عدة غايات للمدينة الذكية. إذْ يمكن استعمال معطيات الهاتف الذكي لتطوير مجموعة متنوعة من التطبيقات الحضرية. فمثلًا، يمكن تطبيقُ تحليلِ وسائل النقل بواسطة معطيات الهاتف المحمول لتقدير حجم حركة المرور على الطرق ومتطلبات النقل. إنّ المعلومات، في الوقت الحقيقي من معطيات الهاتف المحمول، عن أصول الزوار جنبًا إلى جنبِ معطياتِ المَنْظومة الشُمولِيَّةٌ لِتَحْديد المَوْضِع GPS المجهَّزة داخل سيارات الأجرة، يمكن أن تساعِد على إدارة موارد وسائل النقل، كما هو الحال مثلًا في طلبات العموم المستقبلية على سيارات الأجرة.

تحتاج المدينة الذكية أيضًا إلى كمية كبيرة من خزْن المعطيات، يمكن تحقيقها مثلًا بواسطة مساحة وصفية (meta-surface) قابلة للتعديل، أو مجموعة هوائيات نانوية (nano-antennas). [21, 22] يمكن أن يشمل تأثيرُ هذه التقانة مجموعةً من المجالات (مثل تداول الصور (imaging)، والاتصالات، والتعمية، وخزْن المعطيات) .[9] إنّ استجابة مدينةٍ ذكية لمعطياتٍ غير مؤكدة أمرٌ هام، يؤدي إلى السؤال: كيف تقاس متانة مدينة ذكية؟

إطار عمل لتقييم المدن الذكية. يجب مراقبة المدن الصالحة للعيش بواسطة مؤشر جودة المعيشة، الذي يقيس الصحة والأمان والازدهار في المدينة. يجب أن يأخذ إطار عمل التقييم بالحسبان خصائص متنوعة، تتضمن استراتيجيةَ المدينة الذكية ومصالحَ جميع الجهات المساهمة (مثل مقيّمي الأداء، البِنى الأساسية لتقانة المعلومات والاتصالات، السياسات القانونية والتنظيمية، الخدمات، نماذج الأعمال، الاستدامة). الغرض من مثل إطار العمل هذا هو مقارنة خصائص المدن الذكية المختلفة لتعرُّف التحديات الجديدة، وتحديد الفوائد كمّيًّا، وتقييم الأداء.

أمن شبكات VANET. في المدن الذكية، يُعَد الدعم الأمني الفعّال أحدَ المتطلبات الهامة للشبكات المرتجَلة الخاصة بالمركبات (VANETs). فمن الاعتبارات المهمة كيفية تأمين تلك الشبكات بتصميم حلولٍ تقلل من احتمالِ هجمات الشبكة، أو حتى كيفية التقليل من تأثيرِ هجومٍ ناجحٍ يمكن أن يقع عليها.

وتبقى عدة تحديات أمنية قائمة في مجال الاستيقان وتحليل سلوك السائق. تحتاج المدينة الذكية إلى أطرِ عملٍ للاستيقان خفيفةِ الوزن، وقابلة للتصعّد تحمي السائقين من المهاجمين الداخليين والخارجيين. يحدِّد المعيار IEEE 1609.2 v2 مجموعةً من الخدمات الأمنية (مثل سُلطة منح الشهادات (certificate authority)) لدعم اتصالات العربات. بيد أن الحلول المعتمِدة على البِنْيَة الأساسِيَّة لِمَفاتيحِ العُمومِيَّة (المعتمدة على PKI) للتحقق من أصالة العربة قد لا تؤدي إلى حل قابل للتصعُّد (scalable). وينبغي تعريف شهادات تصالبية عندما يكون لدى البلدان أو المدن سلطات منح شهادات (CAs) متعددة الجذور. والسلطة المسؤولة عن كشف سوء التصرف ينبغي مكاملتها في نظام PKI. تحتاج حكومات المدن إلى البحث عن حلولٍ لتبادل الرسائل مبتكرة وسريعة ورخيصة، تبقى أعباؤها الخاصة بالاتصالات ثابتة مع ازدياد عدد العربات ضمن مجال الاتصالات. في المقابل، لضمان خصوصية العربة وعدم كشف هويتها، ينبغي أن تصمَّم استراتيجياتٌ (مثل تغيير الوقت المحدد، التغيير العشوائي، التغيير المعتمد على الكثافة) لتغيير الأسماء المستعارة (شهادات

الأسماء المستعارة بحذف معلومات التعريف مستعملةٌ في PKI) وتُختبر على نطاق واسع، كما هو الحال في بيئة المدينة الذكية. وتشمل الخصائص الأمنية المطلوبة الاستيقان الخفيف الوزن، قابلية تصعّد البنيان الأمني، الصمود في وجه الهجماتِ الخبيثة على العُقد وهجماتِ DoS.

تحسين الخلايا الكهرضوئية. إنّ تحقيق مصدر الطاقة المستدامة في المدينة الذكية يجب أن يشمل الطاقة المتجددة. وأحرزت التقانة الشمسية خطواتٍ كبيرة في العقد الماضي (مثل الخلايا الكهرضوئية التي تحول طاقة الضوء إلى كهرباء). مع ذلك، ما زالت هناك حاجة إلى مزيدٍ من التقنيات لتجميع الطاقة الشمسية بغية تحسين الخلايا الشمسية. الغالبية العظمى من الخلايا الشمسية اليوم تمتص الضوء بواسطة طبقة رقيقة من تيلوريد الكادميوم المكون من طبقتين من الزجاج. من فوائد الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة: انخفاض تكلفة الإنتاج، وسهولة التصنيع. ظهرت سُبُل تصميمٍ جديدة في عام 2014 معتمدة على علم الفوتونات النانوية (nanophotonics)، حيث تُستغل هوائيات نانوية لتوجيه الضوء وتحديد موضعه على مقياس نانوي (nanoscale). وهذه التصاميم واعدة لتحسين عملية الامتصاص في التجهيزات الكهرضوئية، وهذا يَسمح بتخفيضٍ كبيرٍ للثخانة الحقيقية لطبقات الماصّ الشمسي، ويمهّد الطريق لإدخال تصاميم جديدة للخلايا الشمسية. وفي هذا السياق، يُعَدّ تصميمُ هوائياتٍ مكرويةٍ ونانويةٍ جديدةٍ لتحسينِ امتصاص الضوء أمرًا مهمًّا، وإنّ البِنى النانوية المزدوجة، أيْ البِنى المكونة من جسيمين نانويين، هي فيما يبدو مرشَّح جيد. [2]

عوامل تمكين المدينة الذكية. يساعِد التقدم التقاني على إنشاءِ سوق لمنتجاتِ المدينة الذكية وحلولها، لكنّ المدن الذكية تحتاج إلى الكفاءة والاستدامة. اقترح Angelidou [4] تركيبةً مكونة من أربع قوى: المستقبَل الحضري، التقانات، التطبيقات، اقتصاد الابتكار. فللتطوير، يجب أن تَزيد المدنُ الذكية فعالية التطوراتِ التقانية والتطويرَ المعرفيّ لِشبكات الابتكار[4]. وإضافة إلى ذلك، لإنشاء مدينة ذكية، اقترح Amaba [3] مكاملة تعدد الوسائط، والعوامل البشرية، ومنهجية المنظومة ومبادئ التصميم التي محورها المستعمل. يمكن أن توفر المدنُ الذكية الحلولَ لعديدٍ من مشاكل الاستدامة، لكنّ تطويرها المتماسك يتطلب وضع سياسةٍ فعالة في المكان المناسب كجزءٍ من أيّ حل.

مخاطر نظام المعلومات. في المدينة الذكية، لكلّ شيء ترابطٌ، ويشمل ذلك: منظومة المياه العامة، مراقبة حركة المرور، وسائل النقل العام، البِنية الأساسية العظيمة الشأن. ولكلٍّ نقاطُ ضعف خاصة. ومع أنّ المدينة الذكية منظومة معقدة، فإنّ طبيعتها المترابطة تعني أنّ وجود نقطة ضعف إفرادية يمكن أن تؤثّر بشدة في أمن المواطنين؛ فمثلًا، قد يكون المهاجم قادرًا على الارتباط بمنظومة الطاقة الكهربائية للتمكن من النفاذ إلى الشبكة وإحداث تغيير في وسائل النقل العامة إلى حدّ احتمالِ إحداثِ شللٍ لمنظومات النقل الذكية، لدى وجود الآلاف من الركاب على متنها في ساعة الذروة. يمكن أن يُطلِق المهاجمُ أيضًا إنذاراتٍ كاذبة، ويعدّل إشارات المرور والتجهيزات التي تتحكم فيها. يُعَدّ وضعُ حلولٍ عملية أمرًا بالغ الأهمية؛ وإلا فإن العامة لن تثق بمشاريع المدن الذكية، ولن تَعُدّها قابلة للحياة. تَعتمد التجهيزات (مثل الهواتف الذكية) المستعملة في إنترنت الأشياء (IoT) على الميْزات الأمنية (مثل القدرة على القيام بتبادل بريدٍ إلكتروني آمن، وتَصفُّح للوب آمن، ومعاملاتٍ أخرى). تتطلب هذه التجهيزاتُ تنجيزاتٍ فعّالة وآمنة لكل هذه الميزات في المدينة الذكية. وفي هذا السياق، تُعَدّ التعمية ذات المنحني الناقصيّ (ECC) أفضلَ حلٍّ مؤتمَنٍ لتوفير الأمن على التجهيزات والمنظومات المضمَّنة ذات الموارد المحدودة. تَستعمل التعميةُ ECC تعميةً بمفتاحٍ عمومي، وتستند إلى بِنية جبرية لمنحنيات ناقصيّة الشكل معرَّفة على حقولٍ محدودة. من مزايا ECC مقدرتها على توفير مستوى الأمن ذاته الذي توفره خوارزميات التعمية الأخرى، لكنْ باستعمال مفاتيح أصغر، وذاكرة وعبء حسابي أقل، وتوفير حسابات أكثر سرعة.

على المجتمع العلمي أن يعالج مشاريعَ الأمن السِبراني هذه. تشمل التحدياتُ وفرصُ المشاركة التي لم تُطرَق بعد: كشفَ هجومِ DoS لمنظومات التوزيع، والتدابيرَ المضادة التعموية، والاستيقانَ في إنترنت الأشياء (IoT) وفي البِنية الأساسية العظيمة الشأن وفي إدارة المفاتيح أيضًا.

خلاصة

يَنبع الاهتمام القوي من جانب البلديات والحكومات المحلية في جميع أنحاء العالم بالمدن الذكية من مقدرتها على تحسين جودة حياة مواطنيها. وصفنا، هنا، بعض المفاهيم الأساسية للمدن الذكية، وحدّدنا التحديات والفرص البحثية المستقبلية التي تمكّن من نشر المدن الذكية على نطاق واسع. على المطورين، ومهندسي البنيان، والمصممين أن يركّزوا الآن على جوانب إدارة إنترنت الأشياء، وإدارة المعطيات، وتقييم المدينة الذكية، وأمن شبكات VANET، والتقانات المتجددة (مثل القدرة الشمسية). نُلِحّ عند تصميم المدن الذكية، على أن الأمن والخصوصية يظلان تحديين هامّين يتطلبان حلولًا استباقية. إننا نأمل أن نرى مطوري المدينة الذكية، ومهندسي بنيانها، ومصمميها يقدمون حلولًا قابلة للتصعّد، وفعالة من حيث التكلفة، لمعالجة تلك المسائل في المستقبل.

المراجع

[1] Adepetu, A., Arnautovic, E., Svetinovic, D., and de Weck, L. Complex urban systems ICT infrastructure modeling: A sustainable city case study. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems 44*, 3 (Mar. 2014), 363–374.

[2] Akselrod, G., Argyropoulos, C., Hoang, T., Ciraci, C., Fang, C., and Huang, J. Probing the mechanisms of large Purcell enhancement in plasmonic nanoantennas. *Nature Photonics 8* (2014), 835–840.

[3] Amaba, B. Industrial and business systems for smart cities. In *Proceedings of the First International Workshop on Emerging Multimedia Applications and Services for Smart Cities*. ACM Press, New York, 2014, 21–22.

[4] Angelidou, M. Smart cities: A conjuncture of four forces. *Cities 47* (Sept. 2015), 95–106.

[5] Debnath, A., Chin, H., Haque, M., and Yue, B. A methodological framework for benchmarking smart transport cities. *Cities 37* (Apr. 2014), 47–56.

[6] Desouza, K. and Flanery, T. Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework. *Cities 35* (Dec. 2013), 89–99.

[7] Domingo-Ferrer, J. A three-dimensional conceptual framework for database privacy. Chapter in *Secure Data Management*, W. Jonker and M. Petkovic, Eds. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, 2007, 193–202.

[8] Ferreira, D. *AWARE: A Mobile Context Instrumentation Middleware to Collaboratively Understand Human Behavior.* Ph.D. dissertation, Faculty of Technology, University of Oulu, Oulu, Finland, 2013; http://jultika.oulu.fi/Record/isbn978-952-62-0190-0

[9] Huang, L., Chen, X., Mühlenbernd, H., Zhang, H., Chen, S., Bai, B., Tan, Q., Jin, G., Cheah, K., Qiu, C., Li, J., Zentgraf, T., and Zhang, S. Three-dimensional optical holography using a plasmonic metasurface. *Nature Communications 4*, 2808 (Nov. 2013).

[10] Jagadish, H.V., Gehrke, J., Labrinidis, A., apakonstantinou, Y., Patel, J., Ramakrishnan, R., and Shahabi, C. Big data and its technical challenges. *Commun. ACM 57*, 7 (July 2014), 86–94.

[11] Khorov, E., Lyakhov, A., Krotov, A., and Guschin, A. A survey on IEEE 802.11ah: An enabling networking technology for smart cities. *Computer Communications 58*, 1 (Mar. 2015), 53–69.

[12] Lausch, A., Schmidt, A., and Tischendorf, L. Data mining and linked open data—New perspectives for data analysis in environmental research. *Ecological Modelling 295*, 10 (Jan. 2015), 5–17.

[13] Lee, C., Gyu, M., and Woo, S. Standardization and challenges of smart ubiquitous networks. *IEEE Communications Magazine 51*, 10 (Oct. 2013), 102–110.

[14] Lee, J., Gong, M., and Mei-Chih Hu, H. Towards an effective framework for building smart cities: Lessons from Seoul and San Francisco. *Technological Forecasting and Social Change 89* (Nov. 2014), 80–99.

[15] Ma, Y., Wu, H., Wang, L., Huang, B., Ranjan, R., Zomaya, A., and Jie, W. Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems 51* (Oct. 2015), 47–60.

[16] Martinez-Balleste, A., Perez-Martinez, P., and Solanas, A. The pursuit of citizens' privacy: A privacy-aware smart city is possible. *IEEE Communications Magazine 51*, 6 (June 2013), 136–141.

[17] Mitchell, R. and Chen, I. Behavior-rule-based intrusion detection systems for safety-critical smart grid applications. *IEEE Transactions on Smart Grid 4*, 3 (Sept. 2013), 1254–1263.

[18] Perttunen, M., Riekki, J., Kostakos, V., and Ojala, T. Spatio-temporal patterns link your digital identities. Computers, *Environment and Urban Systems 47* (Sept. 2014), 58–67.

[19] Pires, S., Fidélis, T., and Ramos, T. Measuring and comparing local sustainable development through common indicators: Constraints and achievements in practice. *Cities 39* (Aug. 2014), 1–9.

20] Rifkin, J. *The Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, The Collaborative Commons, and The Eclipse of Capitalism.* St. Martin's Press, St. Martin's Griffin, New York, 2015.

[21] Sheldon, M., Van de Groep, J., Brown, A., Polman, A., and Atwater, H. Plasmoelectric potentials in metal nanostructures. *Science 346*, 828 (Nov. 2014), 828–831.

[22] Silva, A., Monticone, F., Castaldi, G., Galdi, V., Alù, A., and Engheta, N. Performing mathematical operations with metamaterials. *Science 343*, 6167 (Jan. 2014), 160–163.

[23] Usman, M., Muthukkumarasamy, V., and Wu, X. Mobile agent-based cross-layer anomaly detection in smart home sensor networks using fuzzy logic. *IEEE Transactions on Consumer Electronics 61*, 2 (May 2015), 197–205.

[24] Zhu, C., Sheng, W., and Liu, M. Wearable sensor-based behavioral anomaly detection in smart assisted-living systems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 12*, 4 (Oct. 2015), 1225–1234.

قيام الربوطات الاجتماعية

THE RISE OF SOCIAL BOTS*

Emilio Ferrara, Onur Varol, Clayton Davis, Filippo Menczer, Alessandro Flammini
ترجمة: د. محمد سعيد دسوقي
مراجعة: د. نزار الحافظ

الربوطات الاجتماعية الحالية معقدة وأحياناً مهدِّدة. في الحقيقة، يمكن أن يهدد وجودُها النظم البيئية المتاحة على الخط وكذلك مجتمعنا.

كانت الربوطات (bots) (اختصار للربوطات البرمجية software robots) حولنا منذ الأيام الأولى للحواسيب. أحد الأمثلة التي لا تقاوم للربوطات هو ربوطات المحادثة (chatbots)، وهي خوارزميات مصمَّمة لإجراء محادثة مع الإنسان، كما تصوَّر آلان تورينغ في الخمسينيات من القرن الماضي [33]. قاد حلمُ تصميم خوارزمية حاسوبية تجتاز اختبار تورينغ أبحاثَ الذكاء الصنعي لعقود، كما تشهد على ذلك مبادراتٌ مثل جائزة لويبنر (Loebner Prize) مكافأةً للتقدم في معالجة اللغات الطبيعية[1]. تغيَّرت أشياء عديدة منذ الأيام الأولى للذكاء الصنعي، عندما جرى تطوير ربوطات مثل إيليزا (ELIZA) [39]، العائد لجوزيف وايزنبوم (Joseph Weizenbaum) لتقليد علاج روجير النفسي، سواءً للعرض أو للمتعة.

اليوم، تقدم نظم بيئات الوسائط الاجتماعية المأهولة بمئات الملايين من الأفراد دوافع حقيقية –تتضمن دوافع تجارية وسياسية– لتصميم خوارزميات تعرض سلوكاً شبيهاً بالبشري. ترفع مثل هذه النظم أيضاً عصا التحدي، بتقديم أبعاد جديدة للتقليد إضافةً إلى المحتوى، ومن ضمنها الشبكة الاجتماعية، والنشاط الزمني، ونماذج الانتشار، والتعبير عن المشاعر. الربوط الاجتماعي هو خوارزمية حاسوبية تقوم آلياً بإنتاج المحتوى والتفاعل مع البشر على وسائط التواصل الاجتماعي، محاوِلةً تقليد سلوكهم وربما تغييره. استوطنت الربوطات الاجتماعية في

مفاهيم أساسية

- النظم التقنية الاجتماعية مأهولة بالربوطات الاجتماعية: هي غالباً حميدة، أو حتى مفيدة، لكن بعضها جرى إنشاؤه ليؤذي، عن طريق العبث بمستعملي الوسائط الاجتماعية والتلاعب بهم وخداعهم.
- استُعملت الربوطات الاجتماعية لتسريب الخطاب السياسي، والتلاعب بسوق الأسهم، وسرقة المعلومات الشخصية، ونشر المعلومات الخاطئة. لذلك فإنَّ اكتشاف الربوطات الاجتماعية هو مسعًى بحثيٌ مهم.
- يأخذ تصنيفُ نظم الكشف عن الربوطات الاجتماعية المختلفة المقترحة في المراجع بالحسبان التقنيات المعتمدة على الشبكات، واستراتيجيات التعهيد الجماعي، والتعلم بالإشراف المعتمد على السمات، والنظم الهجينة.

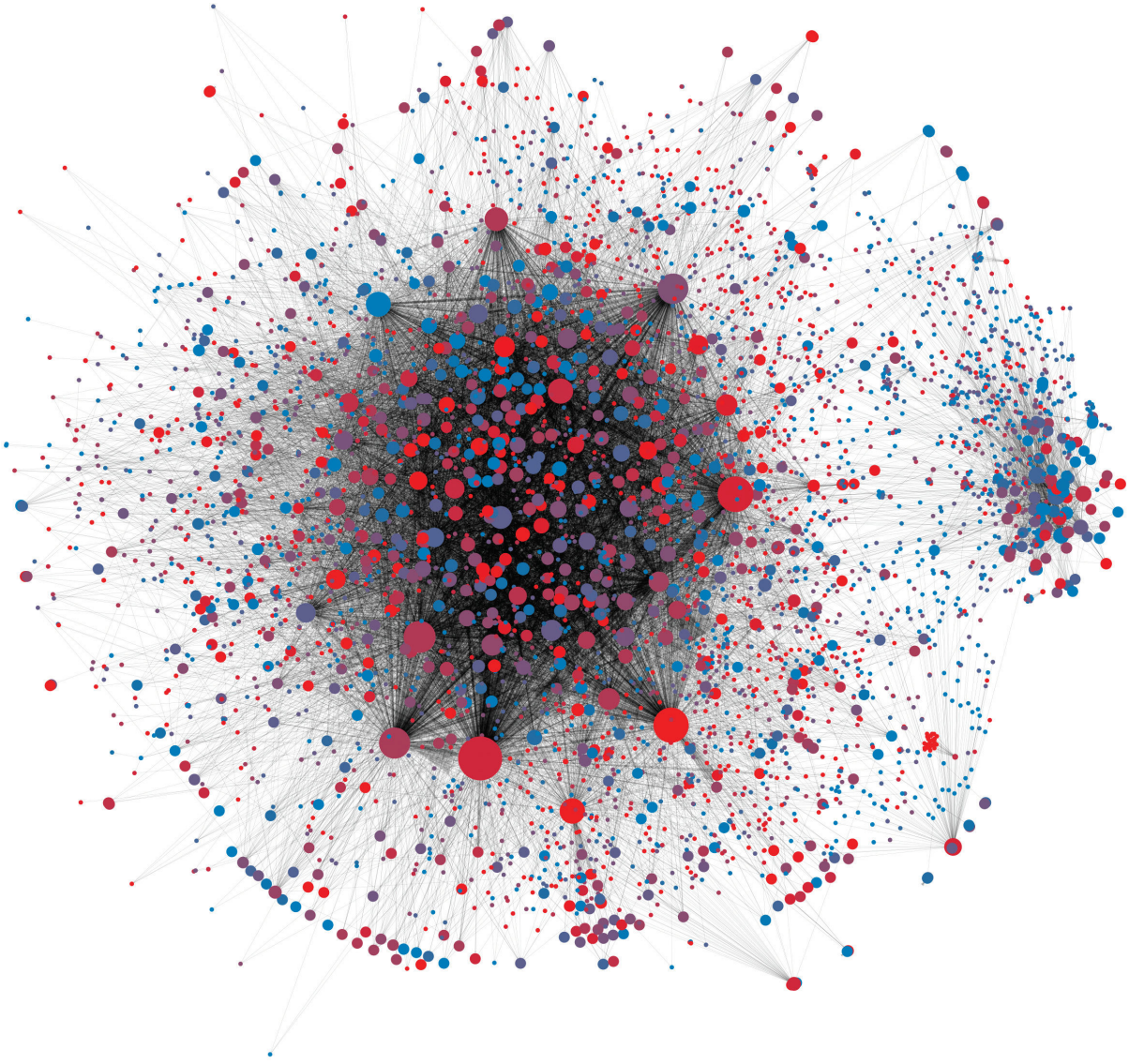
**نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 7، تموز (يولية) 2016، الصفحات 96 – 104.*

[1] www.loebner.net/Prizef/loebner-prize.html

منصات وسائط التواصل الاجتماعي في السنوات القليلة الماضية [7] [24].

تلاعب اجتماعي هندسي

ما هي مقاصد الربوطات الاجتماعية؟ بعضها حميد ومن حيث المبدأ غير ضار أو حتى مفيد: يتضمن هذا الصنفُ



يظهر عرض الشبكة هذا كيفيةَ استعمال الربوطات للتأثير في النقاش المتاح على الخط عن سياسة التلقيح وربما التلاعب به. إنها شبكة إعادة التغريد لأمارة المربع #SB277 عن قانون حديث في كاليفورنيا يتعلق بمتطلبات التلقيح وإعفاءاته. تُمثل العقد مستعملي تويتر وتُظهر الوصلات كيفية نشر المعلومات بين المستعملين. يمثل حجم العقدة التأثير (عدد مرات قيام مستعمل بإعادة التغريد)، وتُمثل الألوان النقاط التي أحرزتها الربوطات: العقد الحمراء يحتمل جداً أن تكون حسابات ربوطات، والعقد الزرقاء يحتمل جداً أن تكون بشراً.

ربوطاتٍ تُجمِّع المحتوى آلياً من مصادر مختلفة مثل التغذية الأخبارية البسيطة. أصبحت المجيبات الآلية على التساؤلات تُعتَمَد بازدياد من العلامات التجارية والشركات للعناية بالزبون. وبرغم تصميم هذه الأنواع من الربوطات لتوفير خدمة مفيدة، فإنَّها يمكن أن تكون مؤذية أحياناً، مثلاً عندما تساهم في نشر معلومات غير مؤكدة أو إشاعات. كشفت تحليلاتُ منشورات تويتر بشأن تفجير ماراتون بوستون أنَّ وسائط التواصل الاجتماعي يمكن أن تؤدي دوراً مهماً في التعرُّف المبكِّر للأحداث الطارئة وفي وصفها [11]. لكن الاتهامات الزائفة انتشرت أيضاً على نطاق واسع على تويتر بعد الهجوم، غالباً بسبب إعادة تغريد الربوطات للمنشورات آلياً بدون تيقن الحقائق أو تفحص صدقية المصدر [20].

مع كل تقانة جديدة تأتي إساءات استعمال، ووسائط التواصل االاجتماعي ليست استثناءً، يتضمن صنفٌ ثانٍ من الربوطات الاجتماعية كياناتٍ خبيثةً مصمَّمةً خصيصى بغرض الإيذاء. هذه الربوطات تضلل الخطاب في وسائط التواصل الاجتماعي وتستغله وتتلاعب به بالإشاعات أو البريد الواغل (spam) أو البرمجيات الخبيثة أو المعلومات الخاطئة أو القذف أو حتى مجرد التشويش. يمكن أن ينتج ذلك مستويات متعددة من الضرر في المجتمع. مثلاً، يمكن أن تُضخِّم الربوطات صنعياً الدعمَ لمرشحٍ سياسي [28]، يمكن لمثل هذا النشاط أن يهدد الديمقراطية بالتأثير في نتائج الانتخابات. في الحقيقة، لوحظ سابقاً هذا النوع من إساءة الاستعمال: أثناء انتخابات منتصف المدة في الولايات المتحدة في عام 2010، جرى استعمال ربوطات اجتماعية لدعم بعض المرشحين وتشويه صورة خصومهم، بحقن آلاف التغريدات التي تشير إلى مواقع وب تحتوي أخباراً مزيفة [28]. رُصدت حالة مشابهة في الانتخابات الخاصة بولاية ماساتشوستس في 2010 [26]. يُشار أحياناً إلى الحملات من هذا النوع على أنها "دعاية شعبية زائفة" أو قنابل تويتر.

ليست المشكلة هي مجرد إثبات صحة المعلومات التي يجري ترويجها – هذا الأمر موجود قبل ظهور الربوطات الاجتماعية، ويبقى بعيداً عن متناول الطرائق الخوارزمية. التحدي الجديد الذي جلبته الربوطات هو حقيقة أنها يمكن أن تعطي الانطباع الخاطئ بأن بعض المعلومات بصرف النظر عن صحتها، لها شعبية كبيرة وأيدها كثيرون، لتسبب تأثيراً لم نطوِّر مضادات له بعد. إنَّ عدم حصانتنا يجعل من الممكن لربوط أن يستحوذ على تأثير كبير، حتى بدون قصد [2]. يمكن أن تولِّد الربوطات المتطوِّرة شخصيات تبدو كأنها متابعة ذات صدقية، ولذلك يكون كشفها أكبر صعوبةً على كلٍ من الأشخاص وخوارزميات الترشيح. فهي تجعل من نفسها كيانات ذات قيمة في سوق المتابعين المزيفين، وقد مسَّت مزاعم الاستحواذ على متابعين مزيفين عدة شخصيات سياسية بارزة في الولايات المتحدة والعالم.

يذكر الصحفيون والمحللون والباحثون على نحوٍ متزايد أمثلة أكثر عن الأخطار المحتملة التي تجلبها الربوطات الاجتماعية. يتضمن ذلك العواقب غير المبررة للانتشار الواسع للربوطات على استقرار الأسواق. كانت هناك ادعاءات بأن إشارات تويتر يمكن أن تُستثمر لتوقُّع سوق الأسهم [5]، وهناك قدر متزايد من الأدلة التي تُظهر أن مشغلي السوق يعيرون انتباههم للمعلومات من وسائط التواصل الاجتماعي للرد على الفور. مثلاً اخترق الجيش السوري الإلكتروني حساب تويتر الخاص بوكالة أسوشياتيد بريس، في 23 نيسان (أبريل) 2013، ونشر إشاعةً مزيفة عن هجوم إرهابي على البيت الأبيض وزعم أن (أوباما) جُرح فيه. أثار ذلك هبوطاً فورياً في سوق الأسهم. في 6 أيار (مايو) 2010 حدث هبوط سريع في سوق الأسهم في الولايات المتحدة، عندما انخفض سهم داو جونز أكثر من 1000 نقطة (حوالي 9%) خلال دقائق – أكبر انخفاض نقاط في التاريخ في يوم واحد. وبعد تحقيقٍ دام خمسة أشهر، توضَّح دور ربوطات التجارة العالية التواتر، لكن حتى الآن ما زال من غير الواضح إذا كانت هذه الربوطات قادرةً على النفاذ إلى المعلومات في الوب الاجتماعي [22].

إن جمع الربوطات الاجتماعية، مع الاعتماد المتزايد على نظم التجارة الآلية التي تستثمر معلومات من وسائط التواصل الاجتماعي، على الأقل جزئياً، أمرٌ محفوفٌ بالمخاطر. يمكن للربوطات تضخيم رؤية المعلومات المضللة، في حين تفتقر نظم التجارة الآلية إلى إمكانات تفحص الحقائق. نجحت حملة ترويجية حديثة للربوطات مضبوطة الإيقاع في توليد ما يبدو أنه نقاش مستدام عن شركة تقنية سُميَّت سينك (Cynk). التقطت خوارزميات التجارة الآلية هذا النقاش وبدأت بالمتاجرة بكثافةٍ بأسهم الشركة. نتج عن ذلك زيادةٌ قدرها 200 ضعف في القيمة السوقية ونقل قيمة الشركة إلى 5 مليارات[2]. وبحلول الوقت، تعرَّف المحللون الإيقاع المضبوط خلف هذه العملية وجرى إيقاف المتاجرة بالأسهم، وكانت الخسائر حقيقية.

أثر الربوطات

توضِّح هذه الحكايات العواقب الممكنة للتلاعب بالوب الاجتماعي على مجتمعنا المتزايد الترابط. إضافةً إلى احتمال تهديد الديمقراطية، والتسبب في الذعر أثناء حالات الطوارئ، والتأثير في سوق الأسهم، يمكن للربوطات الاجتماعية أن تؤذي مجتمعنا بطرق حتى أكثر براعةً. أثبتت دراسة حديثة عدمَ حصانة مستعملي وسائط التواصل الاجتماعي من شبكة ربوطات botnet اجتماعية مصمَّمة لكشف المعلومات الخاصة مثل أرقام الهواتف والعناوين [7]. يمكن أن تَستثمر جرائم سيبرية معلوماتية هذا النوع من عدم الحصانة وتُسبب تآكل الثقة بوسائط التواصل الاجتماعي [22]. يمكن أيضاً للربوطات أن تعوق تقدم السياسة العامة بإعطاء انطباع عن الحركة الشعبية للمعارضين، أو أن تساهم في الاستقطاب القوي للنقاش السياسي الملاحظ على وسائط التواصل الاجتماعي [12]. ويمكنها تغيير تصوُّر تأثير وسائط التواصل الاجتماعي بتضخيمٍ صنعي لأنصار بعض الأشخاص [14]، أو يمكنها تدمير سمعة شركة ما، لأغراض تجارية أو سياسية [25]. برهنت دراسة حديثة أنَّ العواطف مُعدِية على وسائط التواصل الاجتماعي [23]: يمكن لروبوطاتٍ مراوغة أن تتغلغل بسهولة في تجمعات من البشر غير الواعين وأن تتلاعب بهم للتأثير في رؤيتهم للحقيقة، لتوليد نتائج غير متوقعة. تتضمن التأثيرات التجارية والاجتماعية غير المباشرة لنشاط الربوطات الاجتماعية تغيير تحليلات وسائط التواصل الاجتماعي، المعتمدة لأغراض مختلفة مثل التقييمات المتلفزة[3]، ومكتشفات الخبراء [40]، وقياس التأثيرات العلمية[4].

تتصرف كإنسان وتفكر كربوط

أحد التحديات العظيمة في اكتشاف الربوطات في وسائط التواصل الاجتماعي يكمن في فهم ما يمكن للربوطات الاجتماعية المعاصرة فعله [6]. الربوطات المبكِّرة كانت تؤدي أساساً نوعاً واحداً من النشاط: نشر المحتوى آلياً. هذه الربوطات كانت ساذجة وسهلة الاكتشاف باستراتيجيات اكتشاف بديهية، مثل التركيز على الحجم الكبير من توليد المحتوى. في عام 2011، نجَّز فريق جيمس كافيرلي (James Caverlee) في جامعة تكساس (Texas A&M) فخَ مصيدة استطاع كشف آلاف الربوطات الاجتماعية [24]. كانت الفكرة بسيطة وفعَّالة: أنشأ الفريق عدداً قليلاً من حسابات تويتر (ربوطات) كان دورها الوحيد هو إنشاء تغريدات لا معنى لها ذات محتوىً غير مفهوم، ولا تثير اهتمام أي إنسان البتة. مع ذلك، جذبت هذه

[2] The Curious Case of Cynk, an Abandoned Tech Company Now Worth $5 Billion; mashable.com/2014/07/10/cynk

[3] Nielsen's New Twitter TV Ratings Are a Total Scam. Here's Why; defamer.gawker.com/nielsens-new-twitter-tv-ratings-are-a-totalscam-here-1442214842

[4] altmetrics: a manifesto; altmetrics.org/manifesto/

الحسابات عدة متابعين. وبمزيد من التفتيش تأكد أن المتابعين المشبوهين كانوا فعلياً ربوطات اجتماعية تحاول توسيع دائرتها الاجتماعية باتِّباعٍ أعمى لحساباتٍ عشوائية.

في السنوات الأخيرة، أصبحت ربوطات تويتر متطوِّرة على نحو متزايد، وذلك جعل كشفها أكثر صعوبةً. أصبح الحد بين السلوك البشري والسلوك الربوطي الآن أكثر ضبابيةً. على سبيل المثال، يمكن للربوطات الاجتماعية البحث في الوب عن معلومات ووسائط لملء ملامحها (profiles)، ولنشر مواد مجمَّعة في أوقات محددة سلفاً، مقلدةً توقيع الإنسان الزمني لإنتاج المحتوى واستهلاكه – يتضمن ذلك أنماطاً إيقاعية من النشاط اليومي ونبضات زمنية من توليد المعلومات [19]. يمكنها أيضاً أن تساهم في أنواع من التفاعل أكثر تعقيداً، مثل المحادثات الترفيهية مع أشخاص آخرين، والتعليق على منشوراتهم، والإجابة عن أسئلتهم [22]. تهدف بعض الربوطات تحديداً إلى تحقيق تأثير أكبر بتحصيل متابعين جدد وتوسيع دوائرها الاجتماعية؛ يمكنها البحث في الشبكة الاجتماعية عن الأشخاص المشهورين والمؤثرين ومتابعتهم أو جذب انتباههم بإرسال استفسارات إليهم، بأمل أن تلفت انتباههم [2]. ولاكتساب الرؤية يمكنهم التسلل إلى المناقشات الشهيرة، وتوليد محتوى مناسب للموضوع وقد يكون حتى مثير للاهتمام، عن طريق تحديد الكلمات المفتاحية ذات الصلة والبحث الموصول بالخط عن معلومات تناسب تلك المحادثة [17]. بعد تحديد المحتوى المناسب، يمكن للربوطات إنتاج إجابات آلياً عن طريق خوارزميات اللغات الطبيعية، وربما تتضمن مراجع إلى وسائط أو روابط تشير إلى موارد خارجية. تهدف ربوطات أخرى إلى العبث بهويات الأشخاص الشرعيين: بعضهم لصوص هوية يعتمدون على أسماء مختلفة قليلاً عن أسماء المستعملين الحقيقية ويسرقون معلومات شخصية مثل الصور والروابط. يمكن حتى استعمال آليات أكثر تقدماً؛ يمكن لبعض الربوطات الاجتماعية "استنساخ" سلوك مستعملين شرعيين، بالتفاعل مع أصدقائهم ونشر محتوى منسجم موضوعياً باستعمال أنماط زمنية مشابهة.

تصنيف نظم الكشف عن الربوطات الاجتماعية

للأسباب المذكورة هنا كلها، ينكب مجتمع الحوسبة على تصميم طرائق متقدمة للكشف الآلي عن الربوطات الاجتماعية، أو للتمييز بين البشر والربوطات. تبدو الاستراتيجيات التي تستعملها خدمات وسائط التواصل الاجتماعي حالياً غير مناسبة للكشف عن هذه الظاهرة، وجهود المجتمع الأكاديمي في هذا الاتجاه قد بدأت للتو.

يقترح المؤلفون هنا تصنيفاً بسيطاً يقسم المنهجيات المقترحة في المراجع إلى ثلاثة صفوف: نظم الكشف عن الربوطات التي تعتمد على معلومات الشبكة الاجتماعية، والنظم التي تعتمد على التعهيد الجماعي والاستفادة المرتفعة من الذكاء البشري؛ وطرائق التعلم الآلي التي تعتمد على تعرُّف سمات كشف عالية تُميِّز بين الربوطات والبشر. في بعض الأحيان يكون من الصعب تصنيف استراتيجيةِ كشفٍ ضمن واحد من هذه الأصناف الثلاثة، لأن بعضها يتضمن عناصر مختلطة: يقدم المؤلفون أيضاً فقرةً عن الطرائق التي تجمع أفكاراً من هذه المنهجيات الثلاثة.

كشف الربوطات الاجتماعية باعتماد البيان (Graph)

قامت فرق عمل مختلفة بتأطير تحدي الكشف عن الربوطات الاجتماعية وفق وضع خصومي [3]. يقدم نظام Facebook Immune System [30] أحد الأمثلة عن إطار العمل هذا. يمكن لخصم أن يتحكم بربوطات اجتماعية متعددة (غالباً يشار إليها بمتعددة الأسماء (sybils) في هذا السياق) لانتحال شخصيات مختلفة وبدء هجوم أو تغلغل. تعتمد الاستراتيجيات

المقترحة لكشف الحسابات المتعددة الأسماء غالباً على تفحص بنية البيان الاجتماعي. مثلاً، يفترض نظام SybilRank [9] أنَّ الحسابات المتعددة الأسماء تعرض عدداً قليلاً من الروابط لمستعملين شرعيين، في حين يكون معظم ارتباطها بحسابات متعددة الأسماء أخرى، لأنها تحتاج إلى عدد كبير من الروابط الاجتماعية لتبدو جديرة بالثقة. يجري استثمار هذه الميزة لتحديد مجموعات الحسابات المتعددة الأسماء المترابطة بكثافة. تكمن إحدى الاستراتيجيات الشائعة في اعتماد طرائق جاهزة للكشف عن المجتمعات لإظهار مثل تلك المجتمعات المترابطة بإحكام؛ مع ذلك، فقد ثبت أنَّ اختيار خوارزمية الكشف عن المجتمعات يؤثر تأثيراً حاسماً في أداء خوارزميات الكشف [34]. يمكن لمهاجمٍ حكيم أن يزوِّر ترابط حسابات متعدد الأسماء ليقلِّد سمات بنية المجتمع لجزء من الشبكة الاجتماعية المأهولة بمستعملين شرعيين؛ ستجعل هذه الاستراتيجية الهجوم غير مرئي للطرائق التي تعتمد على اكتشاف المجتمعات فقط.

جاءت نظم الكشف لمعالجة هذا القصور، مثلاً يوظِّف نظام SybilRank نموذج البريء بالمرافقة (innocent-by-association paradigm): يُعتبَر الحساب الذي يتفاعل مع مستعملٍ شرعيٍّ شرعياً. يعتمد كل من Souche [41] و AntiReconnaissance [27] على افتراض أنَّ بنية الشبكة الاجتماعية وحدها تفصل المستعملين الشرعيين عن الربوطات. من المؤسف أنَّ فعَّالية استراتيجيات كشف كهذه مقيَّدة بالافتراض السلوكي بأنَّ المستعملين الشرعيين يرفضون التفاعل مع حسابات غير معروفة. أثبتت تجارب مختلفة أنَّ ذلك غير واقعي [7][16][31]. أظهر تغلغل واسع النطاق لربوط اجتماعي على فيسبوك أن أكثر من 20% من المستعملين الشرعيين يقبلون طلبات الصداقة بدون تمييز، وأنَّ أكثر من 60% يقبلون طلبات من حسابات يشتركون معها بجهة اتصال واحدة على الأقل [7]. على منصات أخرى مثل تويتر وتمبلر (Tuumbler)، الارتباط والتفاعل مع الغرباء هو أحد المزايا الرئيسة. في هذه الظروف يعطي نموذج البريء بالمرافقة معدلات خطأ سلبية (false negative) عالية. لَحَظَ بعض المؤلفين حدودَ افتراضِ العثور على مجموعات من الربوطات الاجتماعية أو المستعملين الشرعيين فقط: يمكن أن تحتوي المنصات الحقيقية عدة مجموعات مختلطة من المستعملين الشرعيين الذين وقعوا فريسة لبعض الربوطات [3]، وقد تنجح الربوطات المتطوِّرة في تحقيق توغلات واسعة النطاق، وهذا ما يجعل اكتشافها مستحيلاً اعتماداً على معلومات بنية الشبكة وحدها. دفع ذلك ألفيزي وآخرون [3] للتوصية بمجموعة من تقنيات الكشف المتممة، والتعرف اليدوي لمستعملي الشبكة الاجتماعية الشرعيين للمساعدة على تدريب خوارزميات التعلم بإشراف.

الكشف عن الربوطات الاجتماعية بالتعهيد الجماعي

استعرض وانغ وآخرون [38] إمكان الكشف البشري، مقترحين التعهيد الجماعي (crowdsourcing) لكشف الربوطات الاجتماعية إلى جحافل من العمَّال. ولإثبات المفهوم، أنشؤوا منصة اختبار تورينغ اجتماعية موصولة بالخط. افترض المؤلفون أنَّ كشف الربوطات مهمةٌ سهلة على البشر الذين لديهم قدرات تقييم الفوارق البسيطة في المحادثة مثل السخرية أو اللغة المقنعة، أو ملاحظة الأنماط الناشئة والشذوذ، ولا مثيل لها في الحواسيب حتى الآن. باستعمال معطيات من فيسبوك ورينرين (Renren) (شبكة اجتماعية صينية مشهورة على الإنترنت)، اختبر المؤلفون فعّالية البشر، فجرى توظيف خبراء في الوسم وعمال مباشرةً على الخط، في الكشف عن حسابات الربوطات الاجتماعية ببساطة من المعلومات الموجودة في ملامحهم. لاحظ المؤلفون أن معدل الكشف لدى العمال الموظفين يتناقص مع الزمن، مع أنه يبقى جيداً إلى حدٍ يكفي

للاستعمال في بروتوكول تصويت الأغلبية: يجري عرض الملامح نفسها لعدة عاملين ويحدد رأي الأغلبية الحكم النهائي. تحقق هذه الاستراتيجية معدل خطأ إيجابي قريب من الصفر، وهي ميزة مرغوبة بشدة من أي مزود خدمة.

لكن ثلاثة عيوب تقوِّض جدوى هذا النهج: أولاً برغم ادعاء المؤلفين عموماً بأن كشف الربوطات الاجتماعية بالتعهيد الجماعي قد ينجح إذا جرى تنجيزه في مرحلة مبكرة، فإنَّ هذا الحل قد لا يكون ذا جدوى اقتصادية في حالة منصة ذات قاعدة مستعملين كبيرة موجودة سلفاً مثل فيسبوك وتويتر. ثانياً لضمان توظيف العدد الأدنى من الواسمين البشريين لتخفيض التكلفة، تبقى هنالك حاجة إلى عمال "خبراء" للكشف عن الحسابات المزيفة بدقة، إذ إنَّ العامل "المتوسط" لا يعطي أداءً جيداً بمفرده. بالنتيجة، لبناء أرضية راسخة موثوقة من الربوطات الموسومة، تضطر شركات الشبكات الاجتماعية الكبيرة مثل فيسبوك وتويتر إلى توظيف فِرَق من المحللين الخبراء [30]، لكن خياراً كهذا يمكن أن لا يكون مناسباً للشبكات الاجتماعية الصغيرة في مراحلها المبكرة (أمرٌ يتعارض مع النقطة السابقة). أخيراً، يثير عرضُ المعلومات الشخصية على عمال خارجيين قضيةَ الخصوصية [15]. على حين أنَّ ملامح تويتر تميل لتكون متاحة للعموم أكثر مقارنةً بفيسبوك، فإنها تحتوي معلومات أقل من تلك الموجودة في فيسبوك أو رينرين، مما يعطي الواسم البشري أرضيةً أقل للحكم. ينتج عن التحليل الذي أجراه الواسمون اليدويّون للتفاعلات والمحتوى الذي ولدته شبكة ربوطية اجتماعية سورية نشيطة على تويتر لمدة 35 أسبوعاً أنَّ بعض الربوطات الاجتماعية المتقدمة ربما لم تعد تهدف إلى تقليد سلوك الإنسان، بل إلى تضليل الانتباه وصرفه إلى معلومات غير ذات صلة [1].

تتطلب استراتيجيات التضليل هذه تنسيقاً عالياً بين الربوطات. تتوافق هذه الملاحظة مع النتائج الأولية للحملات السياسية التي ضبطت إيقاعها الربوطات الاجتماعية، التي لم تُبد أنماط توصيل شبكي غريبة فقط بل أيضاً مستويات محسَّنة من السلوك المنسَّق [28]. غذَّت فكرة الاستفادة من معلومات تزامن أنشطة الحسابات عدة نظم كشف عن الربوطات الاجتماعية: تعتمد أطر عمل مثل CopyCatch [4] وSynchroTrap [10] ونظام الكشف Renren Sybil [37] [42] اعتماداً صريحاً على تعرُّف هذا السلوك المنسَّق لتعرُّف الربوطات الاجتماعية.

كشف الربوطات الاجتماعية باعتماد السمات

إن الفائدة من التركيز على الأنماط السلوكية أنها يمكن أن تُرمَّز في السمات وتُكيَّف مع تقنيات التعلُّم الآلي لتعلُّم توقيع السلوك البشري والسلوك الربوطي. يسمح ذلك بتصنيف الحسابات فيما بعد بحسب سلوكها الملاحَظ. من الشائع استعمال صفوف مختلفة من السمات لالتقاط الأبعاد المتعامدة لسلوك المستعملين كما يُلخِّص الجدول المرفق.

يقدِّم نظام Bot or Not? الصادر في عام 2014 مثالاً على نظام يعتمد على السمات، وقد كان واجهة الكشف الأولى عن الربوطات الاجتماعية في تويتر التي أُتيحت للعموم للتبصير بوجود الربوطات الاجتماعية [13][5]. ينجِّز Bot or Not?، مثل النظم الأخرى التي تعتمد على السمات، خوارزميةَ كشفٍ تعتمد على سماتِ توقعٍ عاليةٍ تلتقط سلوكياتٍ مشبوهةٍ متنوعة وتفصل جيداً الربوطات الاجتماعية عن البشر. يستعمل النظام خوارزميات تعلُّمٍ خضعت لإشرافٍ متاحة مدربة على أمثلة لكلٍ من سلوكيات البشر والربوطات اعتماداً على مجموعة معطيات Texas A&M [24] التي تحتوي 15,000 مثالاً من كل صف وملايين التغريدات. يسجّل Bot or Not? نقاطاً في ضبط الكشف تزيد عن 95%[6]، بمقياس

[5] عند كتابة هذا المقال كان Bot or Not? نظامَ الكشف عن الربوطات الوحيد الذي يقدم واجهة للعموم http://truthy.indiana.edu/botornot

[6] قد يؤدي كشفُ ربوطاتٍ اجتماعيةٍ أكثر حداثةً وتعقيداً بالمقارنة بتلك التي كانت موجودة في مجموعة معطيات عام 2011 إلى ضبطٍ أقل.

صفوف السمات التي تستعملها نظم الكشف عن الربوطات الاجتماعية التي باعتماد السمات

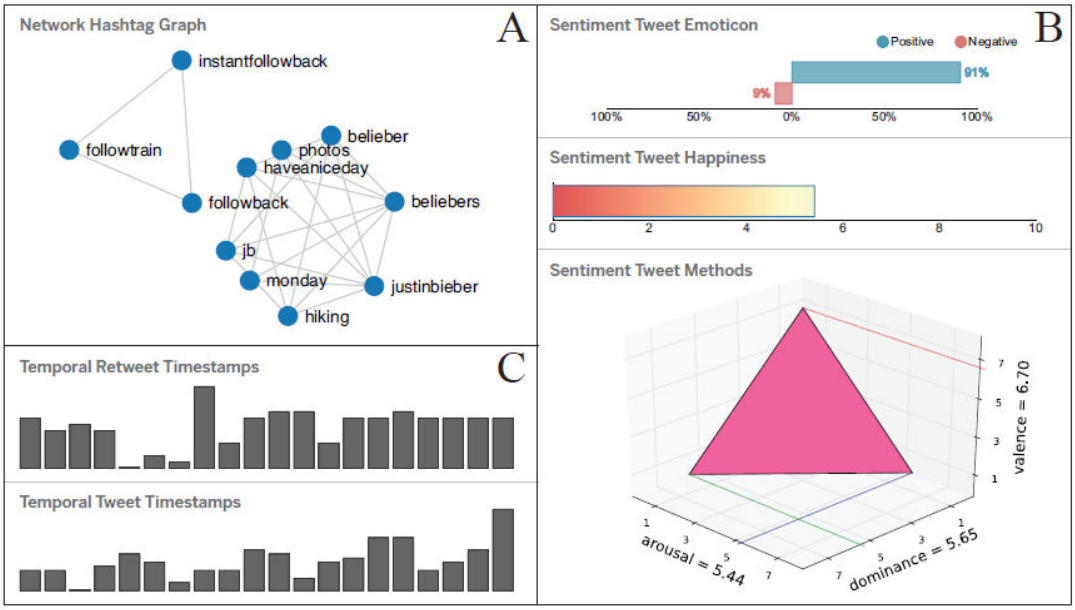
الصف	الوصف
شبكة	تلتقط سمات الشبكة أبعاداً مختلفة من أنماط نشر المعلومات. يمكن استخراج السمات الإحصائية من الشبكات بالاعتماد على التغريدات المعادة (retweets) والتنويهات (mentions) وأمارات المربعات (hashtags) المتواردة (وردت معًا). تتضمن الأمثلة توزع الدرجات ومُعامل العنقدة وقياسات المركزية [29].
مستعمل	تعتمد سمات المستعمل على المعطيات الوصفية الخاصة بحساب ما في تويتر، التي تتضمن اللغة والأماكن الجغرافية وزمن إنشاء الحساب.
أصدقاء	تتضمن سمات الأصدقاء إحصاءات وصفية تتعلق بجهات الاتصال الاجتماعية لحساب ما مثل الأوسط واللحظات والربح الكامن (الإنتروبية) لتوزُّع أعداد المتابِعين والمتابَعين والمنشورات.
توقيت	تلتقط سمات التوقيت الأنماط الزمنية لتوليد المحتوى (التغريدات) واستهلاكه (التغريدات المعادة)؛ تتضمن الأمثلة تشابه الإشارات مع إجرائية بواسون (Poisson Process) [18]، أو الزمن الوسطي بين منشورين متتاليين.
محتوى	تعتمد سمات المحتوى على الإشارات اللغوية المحسوبة عن طريق معالجة اللغات الطبيعية، وخاصةً تعليم أقسام الكلام بأمارات؛ تتضمن الأمثلة تواتر الأفعال والأسماء والظروف في التغريدات.
شعور	تُبنى سمات المشاعر باستعمال خوارزميات لتحليل المشاعر العامة أو الخاصة بتويتر، تتضمن النقاط المسجلة بخصوص الشعور بالسعادة، والإثارة والهيمنة والتكافؤ، والعلاقات الانفعالية [19] [5].

AUROC بطريقة التثبت التصالبي (cross validation). وإضافةً إلى نتائج التصنيف، يقدم Bot or Not? معايناتٍ تفاعليةً متنوعة توفِّر معلوماتٍ عن السمات التي يستغلها النظام (انظر الشكل 1 للحصول على أمثلة).

تتغير الربوطات وتتطوَّر باستمرار: يمكن أن يكشف تحليل السلوكيات العالية التوقع التي يمكن أن تكشفها النظم التي تعتمد على السمات أنماطاً مثيرةً للاهتمام ويمكن أن توفِّر فرصاً فريدة لفهم كيفية التمييز بين الربوطات والبشر. تُعتبَر معطيات المستعمل user الوصفية من الميزات الأكثر توقعاً والأكثر قابليةً للتفسير [22] [38]. يمكننا اقتراح بعض القواعد الذهبية القليلة للاستدلال على كون حساب ما هو على الأرجح ربوط، بمقارنة معطياته الوصفية بتلك الخاصة بمستعمِلين شرعيين (انظر الشكل 2). مع ذلك، ستكون هنالك حاجة إلى عمل إضافي للكشف عن الاستراتيجيات المتطورة التي تُبدي خليطاً من سمات البشر وسمات الربوطات الاجتماعية (يُشار إليها أحياناً أعضاء سيبرانيين (cyborgs)). ويُعدُّ كشف هذه الربوطات أو الحسابات المخترقة [43]، مستحيلاً حالياً على النظم التي تعتمد على السمات.

تركيب منهجيات متعددة

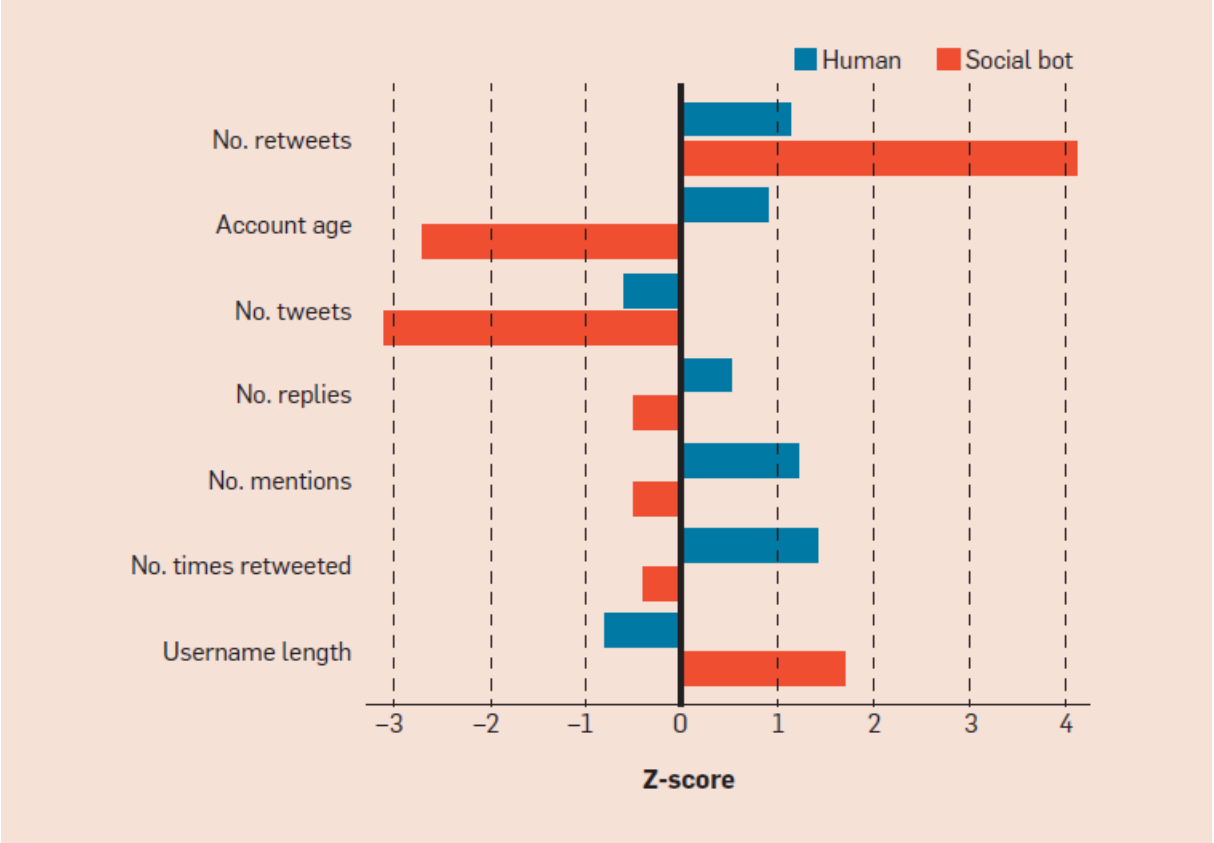
كان ألفيزي Alvisi وآخرون [3] أول من أدرك الحاجة إلى اعتماد تقنيات كشف متممة للتعامل بفاعلية مع هجمات الربوطات المتعددة الأسماء (sybil) في الشبكات الاجتماعية. يعدُّ نظام الكشف Renren Sybil [42][37] مثالاً على نظامٍ يستعرض أبعاداً متعددة من سلوكيات المستعملين مثل معلومات النشاط والمعلومات الزمنية. يُظهر تفحُّص معطيات دفق نقر (click-stream) أرضٍ راسخة أنَّ المستعملين الحقيقيين يمضون وقتاً مقارناً أكثر في التراسل والنظر إلى محتوى مستعملين آخرين (مثل الصور والفيديوهات)، في حين تقضي الحسابات من نوع Sybil وقتها في حصاد الملامح



الشكل 1. سمات شائعة تُستعمل للكشف عن الربوطات الاجتماعية.

(أ) شبكة أمارات المربعات المتواردة (وردت معًا) في تغريداتِ مستعملٍ معطى. (ب) إشارات مشاعر مختلفة تتضمن النقاط المسجَّلة بخصوص العلاقات الانفعالية (emoticon)، والسعادة، والإثارة والهيمنة والتكافؤ (arousal-dominance-valence). (ت) حجم المحتوى المُنتَج والمُستهلَك (تغريدات (tweeting) وتغريدات معادة (retweeting)) مع الزمن.

ومصادقة حسابات أخرى. من البديهي أن تميل نشاطات الربوطات الاجتماعية لتكون أبسط من حيث تنوع السلوك الحاصل. وأيضاً بتعرُّف السمات العالية التوقع مثل تواتر الدعوات والطلبات الخارجة المقبولة ومُعامل عنقدة الشبكة، يستطيع نظام Renren تصنيف الحسابات إلى صنفين: ملامح نموذجية ربوطية وأخرى بشرية [42]. تسعى الحسابات من نوع Sybil في نظام Renren للتواطؤ والعمل معاً لنشر محتوىً مشابه: تُستعمل هذه الإشارة الإضافية، المرمَّزة تشابهاً في المحتوى والزمن، لكشف الحسابات المتواطئة. بطريقةٍ ما، يجمع نهج Renren [37] [42] أفضل تصور للكشف عن Sybil التي تعتمد على الشبكة والسلوك. وبتحقيقه نتائج جيدة، حتى عند استعمال أحداث النقرات المئة الأخيرة فقط لكل مستعمل، يلغي نظام Renren الحاجة إلى خزن تاريخ النقرات الكامل لكل مستعمل وتحليله. يمكن بمجرد ضبط الوسطاء على أرضٍ راسخةٍ، تغذية الخوارزمية بعددٍ ثابت من الحسابات الشرعية المعروفة ثم استعمالها للتصنيف غالباً من دون إشراف. يفسح نهج "Sybil إلى أن يثبت العكس" (عكس استراتيجية البريء بالمرافقة) المدمج في إطار العمل هذا المجال لكشف طرائق هجوم غير معروفة سلفاً: يعيد المؤلفون احتساب حالة الربوطات الواغلة (spambots) التي تضمِّن نصوصاً في الصور للتهرب من الكشف بتحليل المحتوى وقوائم URL السوداء. تحقِّق النظم الأخرى التي تتجِّز طرائق مختلطة مثل CopyCatch [4] وSynchroTrap [10] معدَّلات خطأ إيجابية نسبياً أقل مما تسجله مثلاً الطرائق التي تعتمد على الشبكة.



الشكل 2. سلوكيات المستعمِل التي تميِّز الربوطات الاجتماعية عن البشر على أفضل نحو.

تعيد الربوطات الاجتماعية التغريد (retweet) أكثر من البشر ولها أسماء مستعمِلين أطول، في حين أنها تنتج تغريدات ورودوداً وتنويهات (mentions) أقل، وإعادة تغريداتها أقل من البشر. وتميل حسابات الربوطات أيضاً لتكون أكثر حداثةً.

سيد الدمى

إذا كانت الربوطات الاجتماعية هي الدمى، فيجب توجيه جهود إضافية نحو العثور على "ساداتها". زعمت الحكومات[7] والكيانات الأخرى ذات الموارد الكافية[8] أنها تستعمل الربوطات الاجتماعية لمصلحتها. على افتراض متاحية تقانات كشف فعَّالة، فسيكون عكس هندسة استراتيجيات الربوطات الاجتماعية المراقبة أمراً جوهرياً: من تستهدف، وكيف تولِّد المحتوى، متى تتخذ إجراءً، وما هي الموضوعات التي تتحدث عنها. قد يمكِّن الاستكمال الخارجي المنتظم لمثل هذه المعلومات من تعرُّف سادة الدمى.

إنَّ الجهود باتجاه دراسة عدم حصانة المنصَّات قد بدأت بالفعل. يقوم بعض الباحثين [17]، على سبيل المثال، بعكس هندسة الربوطات الاجتماعية التي تبدي نتائج مثيرة للقلق: فالآليات المؤتمتة البسيطة التي تنتج المحتويات وتعزِّز

[7] Russian Twitter political protests 'swamped by spam'; www.bbc.com/news/technology-16108876

[8] Fake Twitter accounts used to promote tar sands pipeline; www.theguardian.com/environment/2011/aug/05/fake-twitter-tar-sandspipeline

المتابعين، تعطي استراتيجيات تسلل ناجحة وتزيد التأثير الاجتماعي للربوطات. تقوم فرق عمل أخرى بإنشاء الربوطات نفسها: تتحدى مجموعات تيم هوانغ (Tim Hwang) [22] وسون ليهمان (Sune Lehmann)[9] باستمرارٍ فهمَنا للاستراتيجيات التي تستعملها الربوطات الفعَّالة، وتساعد على تكمية قابلية تأثر الأشخاص بها [35][36]. درس بريسكو (Briscoe) وآخرون [8] الإشارات المخادعة للغة التي تستعملها الربوطات ذات النفوذ. وقد أُتيحت أدوات مثل Bot or Not? للعموم لتسليط الضوء على حضور الربوطات الاجتماعية على الخط.

ما تزال عدة مسائل بحثية مفتوحة. مثلاً، لا أحدَ يعلم عدد الربوطات الاجتماعية التي تملأ وسائط التواصل الاجتماعي، أو مقدار حصة المحتوى الذي يمكن أن يُعزى للربوطات – تختلف التقديرات بشدة، وقد يكون ما لاحظناه هو مجرد قمة جبل الجليد. هذه أسئلة مهمة للمتابعة في المجتمع البحثي، وقد تكون مبادراتٌ مثل تحدي سميسك من داربا (DARPA's SMISC) للكشف عن الربوطات، الذي جرى في ربيع عام 2015، محفِّزات فعَّالة في مجال التحقيق الناشئ هذا [32].

إنَّ سلوكيات الربوطات الآن متطورة حقاً: يمكنها بناء شبكات اجتماعية معقولة وإنتاج محتوىً ذي صدقية وأنماط زمنية بشرية. وعلى حين نبني نظم كشف أفضل، نتوقع سباق تسلح مشابهاً لذلك الذي لوحظ في حالة البريد الواغل في الماضي [21]. تُعتبر الحاجة إلى عيِّنات تدريبية قيداً أصلياً للتعلم بإشراف في مشهد كهذا؛ يمكن أن تساعد تقنيات التعلُّم الآلي مثل التعلم النشط على الرد على التهديدات الجديدة. لن ينتهي السباق إلا عندما تزيد فعَّاليةُ الكشف المبكر تكلفةَ الخداع إلى حدٍ كافٍ.

قد يشير الآن مستقبل النظم البيئية لوسائط التواصل الاجتماعي إلى اتجاه البيئات التي يكون فيها تفاعل آلة مع آلة هو القاعدة، ويتجول البشر في عالمٍ مأهولٍ بالربوطات في المقام الأول. نعتقد بوجود حاجة إلى أن تكون الربوطات والبشر قادرين على تعرُّف بعضهم بعضاً لتجنب الحالات الغريبة أو حتى الخطيرة التي تعتمد على افتراضات مزيفة من المحاورين البشر[10].

المراجع

[1] Abokhodair, N., Yoo, D. and McDonald, D.W. Dissecting a social botnet: Growth, content, and influence in Twitter. In *Proceedings of the 18th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work and Social Computing* (2015). ACM.

[2] Aiello, L.M., Deplano, M., Schifanella, R. and Ruffo, G. People are strange when you're a stranger: Impact and influence of bots on social networks. In Proceedings of the 6th AAAI International Conference on Weblogs and Social Media (2012). AAAI, 10–17.

[3] Alvisi, L., Clement, A., Epasto, A., Lattanzi, S. and Panconesi, A. Sok: The evolution of sybil defense via social networks. In Proceedings of the 2013 IEEE Symposium on Security and Privacy. IEEE, 382–396.

[4] Beutel, A., Xu, W., Guruswami,V., Palow, C. and Faloutsos, C. Copy-Catch: stopping group attacks by spotting lockstep behavior in social networks. In Proceedings of the 22nd International Conference on World Wide Web (2013), 119–130.

[5] Bollen, J., Mao, H. and Zeng, X. Twitter mood predicts the stock market. J. Computational Science 2, 1 (2011), 1–8.

[9] You are here because of a robot; sunelehmann.com/2013/12/04/youre-here-because-of-a-robot/

[10] That Time 2 Bots Were Talking, and Bank of America Butted In; www.theatlantic.com/technology/

[6] Boshmaf, Y., Muslukhov, I., Beznosov, K. and Ripeanu, M. Key challenges in defending against malicious socialbots. In Proceedings of the 5th USENIX Conference on Large-scale Exploits and Emergent Threats, Vol. 12 (2012).

[7] Boshmaf, Y., Muslukhov, I., Beznosov, K. and Ripeanu, M. 2013. Design and analysis of a social botnet. Computer Networks 57, 2 (2013), 556–578.

[8] Briscoe, E.J., Appling, D.S. and Hayes, H. Cues to deception in social media communications. In Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences (2014). IEEE, 1435–1443.

[9] Cao, Q., Sirivianos, M., Yang, X. and Pregueiro, T. Aiding the detection of fake accounts in large scale social online services. NSDI (2012). 197–210.

[10] Cao, Q., Yang, X., Yu, J. and Palow, C. Uncovering large groups of active malicious accounts in online social networks. In Proceedings of the 2014 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. ACM, 477–488.

[11] Cassa, C.A., Chunara, R., Mandl, K. and Brownstein, J.S. Twitter as a sentinel in emergency situations: Lessons from the Boston marathon explosions. PLoS Currents: Disasters (July 2013); http://dx.doi.org/10.1371/currents.dis.ad70cd1c8bc585e9470046cde334ee4b

[12] Conover, M., Ratkiewicz, J., Francisco, M., Gonçalves, B., Menczer, F. and Flammini, A. Political polarization on Twitter. In Proceedings of the 5th International AAAI Conference on Weblogs and Social Media (2011), 89–96.

[13] Davis, C.A., Varol, O., Ferrara, E., Flammini, A. and Menczer, F. BotOrNot: A system to evaluate social bots. In Proceedings of the 25th International World Wide Web Conference Companion (2016); http://dx.doi.org/10.1145/2872518.2889302 Forthcoming. Preprint arXiv:1602.00975.

[14] Edwards, C., Edwards, A., Spence, P.R. and Shelton, A.K. Is that a bot running the social media feed? Testing the differences in perceptions of communication quality for a human agent and a bot agent on Twitter. Computers in Human Behavior 33 (2014), 372–376.

[15] Elovici, Y., Fire, M., Herzberg, A. and Shulman, H. Ethical considerations when employing fake identities in online social networks for research. Science and Engineering Ethics (2013), 1–17.

[16] Elyashar, A., Fire, M., Kagan, D. and Elovici, Y. Homing socialbots: Intrusion on a specific organization's employee using Socialbots. In Proceedings of the 2013 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining. ACM, 1358–1365.

[17] Freitas, C.A. et al. Reverse engineering socialbot infiltration strategies in Twitter. In Proceedings of the 2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining. ACM 2015.

[18] Ghosh, R., Surachawala, T. and Lerman, K. Entropybased classification of "retweeting" activity on Twitter. In Proceedings of the KDD Workshop on Social Network Analysis (2011).

[19] Golder, S.A. and Macy, M.W. Diurnal and seasonal mood vary with work, sleep, and daylength across diverse cultures. Science 333, 6051 (2011), 1878–1881.

[20] Gupta, A., Lamba, H. and Kumaraguru, P. $1.00 per RT #BostonMarathon #PrayForBoston: Analyzing fake content on Twitter. eCrime Researchers Summit. IEEE (2013), 1–12.

[21] Heymann, P., Koutrika, G. and Garcia-Molina, H. Fighting spam on social web sites: A survey of approaches and future challenges. Internet Computing 11, 6 (2007). IEEE, 36–45.

[22] Hwang, T., Pearce, I. and Nanis, M. Socialbots: Voices from the fronts. ACM Interactions 19, 2 (2012), 38–45.

[23] Kramer, A.D. Guillory, J.E. and Hancock, J.T. Experimental evidence of massive-scale emotional contagion through social networks. In Proceedings of the National Academy of Sciences (2014), 201320040.

[24] Lee, K., Eoff, B.D., and Caverlee, J. Seven months with the devils: A long-term study of content polluters on Twitter. In Proceedings of the 5th International AAAI Conference on Weblogs and Social Media (2011), 185–192.

[25] Messias, J., Schmidt, L., Oliveira, R. and Benevenuto, F. You followed my bot! Transforming robots into influential users in Twitter. First Monday 18, 7 (2013). 26. Metaxas, P.T. and Mustafaraj, E. Social media and the elections. Science 338, 6106 (2012), 472–473.

[27] Paradise, A., Puzis, R. and Shabtai, A. Antireconnaissance tools: Detecting targeted socialbots. Internet Computing 18, 5 (2014), 11–19.

[28] Ratkiewicz, J., Conover, M., Meiss, M., Gonçalves, B., Flammini, A. and Menczer, F. Detecting and tracking political abuse in social media. In Proceedings of the 5th International AAAI Conference on Weblogs and Social Media (2011). 297–304.

[29] Ratkiewicz, J., Conover, M., Meiss, M., Gonçalves, B., Patil, S., Flammini, A. and Menczer, F. Truthy: Mapping the spread of astroturf in microblog streams. In Proceedings of the 20th International Conference on the World Wide Web (2011), 249–252.

[30] Stein, T., Chen, E. and Mangla, K. Facebook immune system. In Proceedings of the 4th Workshop on Social Network Systems (2011). ACM, 8.

[31] Stringhini, G., Kruegel, C. and Vigna, G. Detecting spammers on social networks. In Proceedings of the 26th Annual Computer Security Applications Conference (2010), ACM, 1–9.

[32] Subrahmanian, VS, Azaria, A., Durst, S., Kagan, V., Galstyan, A., Lerman, K., Zhu, L., Ferrara, E., Flammini, A., Menczer, F. and others. The DARPA Twitter Bot Challenge. IEEE Computer (2016). In press. Preprint arXiv:1601.05140.

[33] Turing, A.M. Computing machinery and intelligence. Mind 49, 236 (1950), 433–460.

[34] Viswanath, B., Post, A., Gummadi, K.P. and Mislove, A. An analysis of social network-based sybil defenses. ACM SIGCOMM Computer Communication Review 41, 4 (2011), 363–374.

[35] Wagner, C., Mitter, S., K̨rner, S. and Strohmaier, M. When social bots attack: Modeling susceptibility of users in online social networks. In Proceedings of the 21st International Conference on World Wide Web (2012), 41–48.

[36] Wald, R., Khoshgoftaar, T.M., Napolitano, A. and Sumner, C. Predicting susceptibility to social bots on Twitter. In Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Information Reuse and Integration. IEEE, 6–13.

[37] Wang, G., Konolige, T., Wilson, C., Wang, X., Zheng, H. and Zhao, B.Y. You are how you click: Clickstream analysis for sybil detection. USENIX Security (2013), 241–256.

[38] Wang, G., Mohanlal, M., Wilson, C., Wang, X., Metzger, M., Zheng, H. and Zhao, B.Y. Social turing tests: Crowdsourcing sybil detection. NDSS. The Internet Society, 2013.

[39] Weizenbaum, J. ELIZA—A computer program for the study of natural language communication between man and machine. Commun. ACM 9, 1 (Sept. 1966), 36–45.

[40] Wu, X., Feng, Z., Fan, W., Gao, J. and Yu, Y. Detecting marionette microblog users for improved information credibility. Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases. Springer, 2013, 483–498.

[41] Xie, Y., Yu, F., Ke, Q., Abadi, M., Gillum, E., Vitaldevaria, K., Walter, J., Huang, J. and Mao, Z.M. Innocent by association: Early recognition of legitimate users. In Proceedings of the 2012 ACM Conference on Computer and Communications Security. ACM, 353–364.

[42] Yang, Z., Wilson, C., Wang, X., Gao, T., Zhao, B.Y. and Dai, Y. 2014. Uncovering social network sybils in the wild. ACM Trans. Knowledge Discovery from Data 8, 1 (2014), 2.

[43] Zangerle, E. and Specht, G. 'Sorry, I was hacked' A classification of compromised Twitter accounts. In Proceedings of the 29th Symposium On Applied Computing (2014).

المؤلفون

إميليو فيرارا (Emilio Ferrara) (emiliofe@usc.edu) أستاذ باحث مساعد في جامعة كاليفورنيا الجنوبية، في لوس أنجلوس، وعالم حاسوب في معهد علوم المعلوماتية USC. وكان زميلاً ما بعد الدكتوراه في جامعة إنديانا عندما كان هذا العمل يُنفَّذ.

أونور فارول (Onur Varol) (ovarol@indiana.edu) مرشح للدكتوراه في جامعة إنديانا، مدينة بلومينغتون، ولاية إنديانا.

كلايتون دافيس (Clayton Davis) (claydavi@indiana.edu) مرشح للدكتوراه في جامعة إنديانا، مدينة بلومينغتون، ولاية إنديانا.

فيليبو مينتزر (Filippo Menczer) (fil@indiana.edu) أستاذ في علوم الحاسوب والمعلوماتية في جامعة إنديانا، مدينة بلومينغتون، ولاية إنديانا.

اليساندرو فلاميني (Alessandro Flammini) (aflammin@indiana.edu) أستاذ مشارك في المعلوماتية في جامعة إنديانا، مدينة بلومينغتون، ولاية إنديانا.

خروج التصوير التجسيمي إلى النور

BRINGING HOLOGRAPHY TO LIGHT*

Marina Krakovsky
ترجمة: د. أديب بطح
مراجعة: د. محمد عباسي

في حين أن التقنيات الثلاثية الأبعاد 3D التي تَشغَل العناوين الرئيسة ليست بالحقيقة تجسيميةً (holographic)، فإن التقنيات التجسيمية قد عَجلت التقدم في تطبيقات هامة مثل التصوير الطبي الحيوي.

خرجت في الأشهر الأخيرة، شركة تلو أخرى بمنتجات تبدو أنها تَخْلق مُصوَراتٍ تجسيمية (holograms)، لكن وَفْقاً لخبراء البصريات، فإن معظمها لا يستعمل التصوير التجسيمي (holography) الحقيقي لخلق مؤثرات ثلاثية الأبعاد (3D).

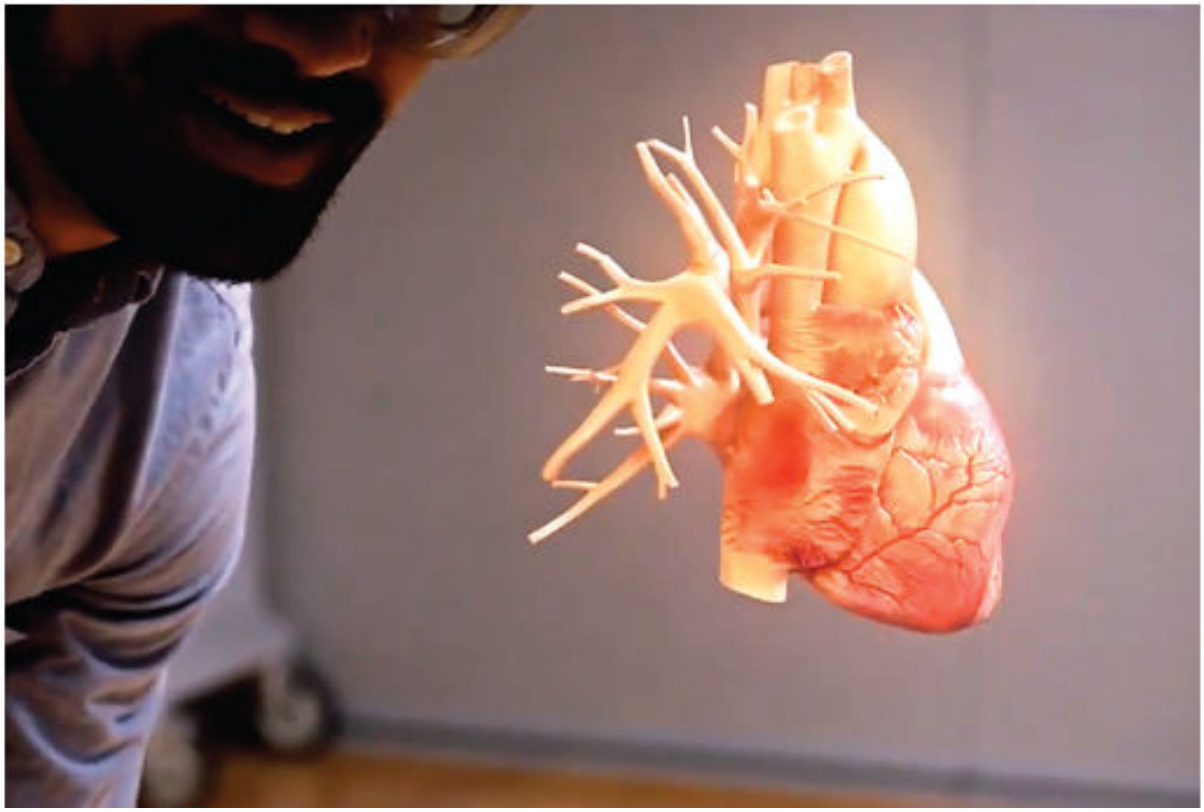
"هناك الكثير من الناس الذين يسيئون استعمال كلمة 'التصوير التجسيمي'" يقول جيمس ر. فينوب أستاذ البصريات، وروبرت هوبكنز أستاذ الهندسة الكهربائية وهندسة الحاسوب في جامعة روتشستر. "إنه ضرب من الأمور الجذابة" – وطريق سريع لحث الخيال العلمي أساساً برباطة جأش مستقبلية – "لذلك يدعون أشياءَ 'مُصوراتٍ تجسيمية' وهي لا تمت إلى التصوير التجسيمي بأيِ صلة."

ومن الأمثلة الشهيرة على ذلك ما يسمى "مصوَّر توباك التجسيمي"، الذي فاجأ الحضور في مهرجان كوتشيلا للموسيقى عام 2012 بظهور مغني الراب توباك شاكور وهو يعزف على المسرح بعد سنوات من قتله. هذه المفاجأة، التي أحدثت ضجةً على الإنترنت، دعمت فقط سوء فهم الجمهور لِما هو المُصوَر التجسيمي. في الواقع، لم يستعمل هذا التأثير التصويرَ التجسيمي البتة؛ وإنما أعاد توظيف خدعة الساحر التقليدية التي تدعى شبح الفلفل، المتمثلة بخلق خداع بصري باستعمالٍ ذكي لمرايا متوضعة بوضع زاوي دقيق.

يقول ديفيد فاتال، الرئيس التنفيذي لشركة ليا (LEIA) المتفرعة عن شركة هويلت باكرد (HP) التي طورت شاشات ثلاثية الأبعاد للهواتف الذكية، لقد استعمل الناس تعبير "المُصورات التجسيمية" في حالة أي شيء مرئي متى وضعت السَماعة الرأسية (headset) التي تُظهر الواقعَ المعزَّز (AR) أو الواقع الافتراضي (VR)[1]. على سبيل المثال، لقد سوَّقت شركة ميكروسوفت سماعةَ الواقع الافتراضي هولولنز (HoloLens) كشكل من أشكال "الحوسبة التجسيمية"، وكوسيلة إعلام

**نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 10، تشرين الأول (أكتوبر) 2016، الصفحات 13 – 15.*

[1] الواقع الافتراضي (virtual reality) أو الواقع المعزز (augmented reality): هو الواسطة التي يمكن بها تعديل مشهد واقعنا الحالي باستعمال الحاسوب، فيوفر الانغماس في بيئة افتراضية من دون وجود المعرفة الحسية بالعالم من حولنا. يُركِّب الواقعُ الافتراضي الأغراضَ الثلاثية الأبعاد الافتراضية فوق العالم الواقعي معطياً الإحساس بأنها أمامنا. ويجري تعزيز عناصره بواسطة مُدخلات حسية معالجة حاسوبياً، كالصوت والفيديو والصورة وحتى GPS. (المترجم)



تَعَلُّم الطب بطريقة ثلاثية الأبعاد باستعمال نظارة الواقع الافتراضي هولولنز من شركة ميكروسوفت.

سائدة تَصِف الصور التي تُرى من خلالها على أنها "مُصورات تجسيمية"، بالرغم من عدم وضوح الدور الذي يؤديه التصوير التجسيمي في هذه التقنية. (رفض مسؤولو شركة ميكروسوفت إجراء مقابلات معهم بخصوص هذه المقالة). هناك أيضاً النظارة المنافسة أوكولوس (Oculus)، التي توصف أيضاً بأنها تجسيمية.

المُصور التجسيمي بالنسبة لمعظم الناس هو ظهور أي غرض افتراضي بشكل ثلاثي الأبعاد (3D) – حتى الصور التي تم خَلقَها باستعمال التأثيرات التجسيدية البسيطة، والتي تُرى من خلال نظارات بلاستيكية ثلاثية الأبعاد (3D). "وهذا ليس هو التعريف العلمي"، كما يقول فاتال، مضيفاً لقد تم انتقاد شركة ليا، أيضاً، عدداً من المرات في المؤتمرات الأكاديمية لعدم استعمالها التصوير التجسيمي الحقيقي.

إن التصوير التجسيمي الحقيقي، بالمفهوم العلمي يدل على العملية التي تستعمل تأثيرات التداخل الموجي لالتقاط وإظهار غرضٍ ثلاثي الأبعاد. وتستعمل هذه الطريقة، التي تعود إلى ستينيات القرن الماضي، حزمتين ضوئيتين متماسكتين، عادة ما تكونان ليزريتين. يوضح فينوب: "عندما يُضيء شعاع الليزر غرضاً ما، ويصل الضوء المتناثر عنه إلى مُحسٍّ تجسيمي، وفي نفس الوقت يُضيء شعاعٌ من نفس الليزر لم يصطدم بالغرض نفسَ المُحسِ". "يحدث في هذه الحالة تدَاخِل هذين الشعاعين معاً، ويتم التقاط كامل الحقل الكهرطيسي". في الحقيقة، فإن كلمة "هولو" (holo) في التصوير التجسيمي تعني "الكل".

والنتيجة هي مجموعة من الأهداب المتداخلة على فِلْمٍ تجسيمي – نمط من المناطق المظلمة والمضيئة، على عكس الصورة الفوتوغرافية، لا يشبه الغرضَ الأصلي. لذلك، لا بد من إجراء عملية إعادة تشكيل (عملية بناء) لرؤية صورة تشبه الغرض الأصلي. وتَحدُث هذه العملية بإمرار ضوء ليزري خلال نمط التداخل، الذي يعمل كشبكة انعراج تُبَعثِر الضوء في اتجاهاتٍ مختلفة.

إن مفتاح الحصول على كامل الحقل الكهرطيسي – ويشمل ذلك تأثير العمق – هو تحصيل معلومات عن طور (phase) التصوير التجسيمي، أو الدرجة التي تكون موجة الضوء الآتية من الحزمة المرجعية مُزاحة بها عن الموجة الآتية من حزمة الغرض المقصود تصويره. يقول ريمون كوستوك، أستاذ الهندسة الكهربائية وهندسة الحاسوب، وعلوم البصريات، بجامعة أريزونا، الذي يستعمل التصوير التجسيمي في تطوير عمليات أكثر كفاءةً لتحويل الطاقة الشمسية، والذي قدم أرخص أساليب الكشف عن سرطان المَبيض، "إن ما يُقدمِه ما ذُكِر هو هذه الخصائص الهامة عن مفهومِ الثلاثي الأبعاد". إذ بتحصيلِ معلوماتٍ عن الطور وعن المطال (الشدة) معاً، يُظهر التصوير التجسيمي أكثر مما يظهره التصوير الفوتوغرافي، الذي يُحصِل فقط معلومات عن شدة الضوء.

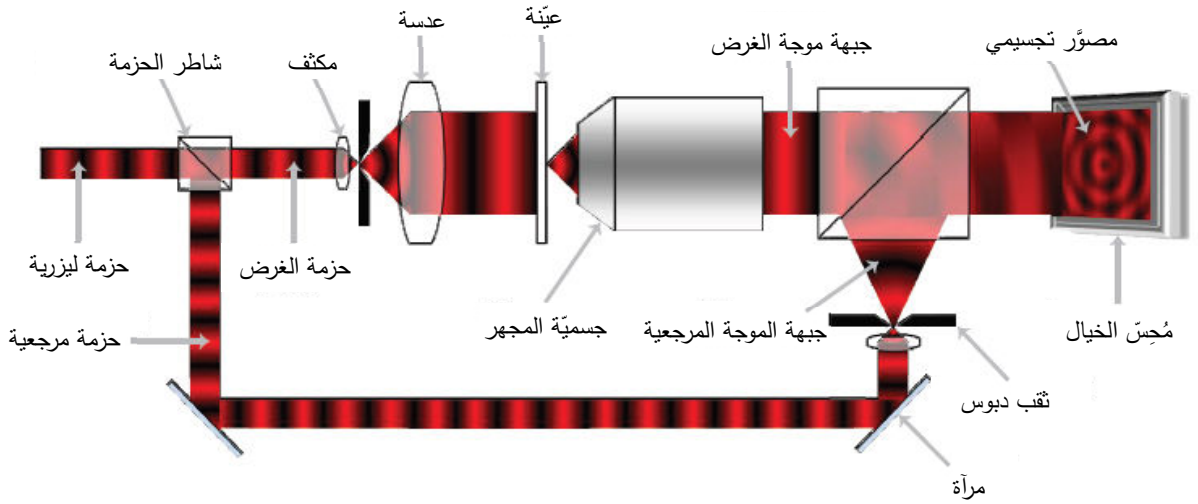
تُنفذ معظم هذه الإجرائية الآن حاسوبياً، باستعمال كاميرات CCD أو CMOS وخوارزميات إعادة البناء. ويوضح بارثا بانيرجي أستاذ الهندسة الكهربائية وهندسة الحاسوب، وعلوم البصريات، بجامعة دايتون، أنه "بدلاً من التسجيل على فِلم، يجري التسجيل على ذاكرة الكاميرا CCD، ثم تُخزن تلك المعلومات في حاسوب على شكل مصفوفة". ولإعادة بناء الصورة، تجري معالجة المصفوفة المعنية باستعمال معادلات الانعراج المعروفة، التي تُنمذج كيفية انتشار الأمواج الضوئية من مكان إلى آخر، من الغرض المقصود تصويره إلى المُحِس الضوئي. "وهذا هو التصوير التجسيمي الرقمي"، كما يقول بانيرجي، الذي كان أيضاً رئيساً عاماً لمؤتمر التصوير المجسم الرقمي والتصوير الثلاثي الأبعاد الذي عقد هذا العام، وهو الذي استعمل التصوير التجسيمي لتحصيل شكل قطرات المطر أو جسيمات الجليد أثناء اصطدامها بالطائرات، بهدف تحديد الخصائص الثلاثية الأبعاد للخدوش التي نشأت عن هذه الاصطدامات.

يقول بانيرجي وغيره من الخبراء، إن أحد أكثر تطبيقات التصوير التجسيمي الرقمي انتشاراً في هذه الأيام، هو المجهر الرقمي التجسيمي (digital holographic microscopy: DHM)، الذي يهدف إلى الحصول على صور دقيقة للأغراض المجهرية، وخاصة الخلايا الحية والمكونات الصناعية الصغيرة من قبيل الترانزستورات المستمرة في الصغر المطبوعة على شرائح السيليكون.

على سبيل المثال، تدير لورا والر، وهي أستاذة في علوم الحاسوب والهندسة الكهربائية في جامعة كاليفورنيا في بيركلي، مختبر تصوير حاسوبي يصمم أدوات المجهر الرقمي التجسيمي المُعد للتصوير البيولوجي، بتصميم البرمجيات والعتاديات في آن واحد. وتقول لورا، "لقد صممنا النظام البصري بعناية بغية الحصول على معلومات كافية عن الطور في القياسات التي نُجريها"، "ولأننا نعرف نموذج الضوء الموجي للمجهر، يمكننا أن نُحوِل [المعطيات التي نحصلها] إلى مسألة استمثال الحالة غير الخطية وغير المحدبة لنتمكن من إيجاد الطور من هذه القياسات ".

إن الخلايا الحية شفافةً تماماً، لكنها سميكة لدرجة أنها تؤدي إلى تأخير في طور الحزمة الضوئية; وبوُسْع الباحثين بقياس تلك التأخيرات الطورية، رسمُ أشكال وكثافات هذه الخلايا.

إن استعمال التأخيرات الطورية لجعل العينات الشفافة مرئية ليس جديداً–ففي عام 1953 حاز فريتس زيرنيك جائزةَ نوبل في الفيزياء عن عمل مماثل –إلا أن لمجهر تباين الطور التقليدي عيوباً استطاع المجهر الرقمي التجسيمي (DHM)



البنية البصرية للمجهر الرقمي التجسيمي.

التغلب عليها. يقول فيينوب "إن مجهر (زيرنيك) لِتباين الطور هو وسيلة لرؤية هذين الشيئين: التغيرات في السُمْك والتغيرات في الكثافة –ولكنه ليس كمياً". "بل يعتمد على تحويل تغيرات الطور هذه إلى أنماط مضيئة ومظلمة، وليس بمقدوره أن يوفر بدقة معرفة مقدار الطور، وكم كان سُمكه، أو كم كانت رِقَتُه، ولكن نستطيع الآن بوجود التصوير التجسيمي الرقمي، قياس الكثافة والسُمْك."

تقول لورا والر: إن مجاهر تباين الطور هي قطع آلية معقدة تكلف عادة آلاف الدولارات. في حين أنظمة المجهر الرقمي التجسيمي (DHM) الموجودة في مختبرها، أقل تكلفة بأكثر من عشر مرات، "إنها برخص التراب، وسهلة الاستعمال، وليس لها أي متطلبات خاصة. فضلاً على استعمالها للحاسوب الذي يتحمل العبء الناجم عن هذه الأعمال ".

وتضيف لورا والر: إن عامل السرعة حيوي عند تصوير العينات البيولوجية. "حيث لدينا فقط نصف ثانية قبل أن تبدأ الخلايا في التحرك ويصبح كل شيء غير واضح". "كما أنه لا يمكن تحصيل المزيد والمزيد من البيانات باعتبار أن كمية البيانات هذه تكون مُقيدة بمدى سرعة الكاميرا على قراءتها". يتفرد مختبر والر بتقنية متطورة تتجاوز مسألةَ المقايضة بين دقة المَيْز (resolution) وحقل الرؤية (field of view) وذلك بالتقاط صور متعددة ذات مَيْز منخفض لعينات من الخلايا الحية في حقل رؤية عريض ثم دمجها حسابياً لخلق صور مَيْزها عالي (من مرتبة–جيغابيكسل).

في تطويرٍ مرتبط بالتصوير التجسيمي يدعى التصوير الرباعي الأبعاد (4D)، أضاف المعنيون إليه البعد الرابع وهو الزمن، لإظهار الأغراض الثلاثية الأبعاد أثناء الحركة – على سبيل المثال، إعادة بناء الصورة تجسيميًّا لإظهار تدفق الدم الجنيني.

برغم التعويل على كل هذه التقنيات التجسيمية في مساعدة كلٍ من البحوث الأساسية والتطبيقات الطبية الحيوية، مثل الكشف المبكر عن الأمراض، فإن ما يثير اهتمام معظم الناس هو صور الأشخاص المتحركة، والأغراض المألوفة غير المجهرية –لجلب مؤثرات الخيال العلمي إلى حياتنا اليومية. وبخلاف التصوير التجسيمي الزائف، يمكن لمظهارٍ حقيقيٍّ تجسيمي أن يحاكي خصيصة حاسمة للطريقة التي تُمَكِن من رؤية الأغراض بالأبعاد الثلاثية في العالم الحقيقي.

ويوضح ديفيد فاتال من شركة ليا: تَظهر الأغراض مختلفةً من نقاط نظر مختلفة (اختلاف المنظر في الفراغ (parallax))، فمع كل تغيير في نقطة النظر يحدث تغيير مستمر وغير متقطع في المنظور. ومع ذلك، يقول فاتال، تبقى العُروض التجسيمية الحقيقية غير عملية حالياً.

أولاً: يتطلب خلق أنماط انعراجية، بكسلاتٍ صغيرة جداً – من رتبة 100 نانومتر، على حين يقابل أصغر حجم يمثله البكسل على الشاشات التلفزية اليوم حوالي 20 إلى 50 مكرون. "لذا نحن بعيدون مئتين أو ألف مرة عن تحقيق الحجم المطلوب، وهذا ما يعني الحاجة إلى شاشة تلفزية مكونة من تريليونات البكسلات، وهو أمر خارق"، كما يقول فاتال.

غالباً ما تكون معالجة مسألة الحركة في الزمن الحقيقي أكثر صعوبةً: لذلك ولجعل الصورة التجسيمية تتحرك بسرعة الفيديو العادية، يتطلب الأمر إعادة حساب أهداب الانحراف كل 60/1 جزء من الثانية – وهذا أسرع بكثير من أي شيء أقل من حاسوب عملاق، حتى مع أسرع الخوارزميات المتاحة.

مع ذلك ما زال فاتال يهدف إلى تحقيقِ مؤثراتٍ فيديوية تجسيمية ليس على حاسوب عملاق أو حتى على حاسوب سطح المكتب فحسب، ولكن على الهاتف الذكي أيضاً، الذي يُعتبر منصة الحوسبة الأكثر شعبيةً على الأرض. وأعلنت شركة ليا (LEIA)، التي ستجعل شاشاتها متاحةً للمستهلكين بواسطة صفقات ستُجريها مع مصنعي الهواتف النقالة، عن خطط لشحن أولى شاشاتها بحلول نهاية عام 2017.

تكمن الحيلة، كما يوضح فاتال، في تجزئة المُصور التجسيمي إلى قطع، بدلاً من معالجته كصورة مفردة. "ويتم ذلك بأخذ المُصور التجسيمي الشامل –والتفكير فيه على أنه مكون من مصفوفات ضوئية مختلفة أو أنها متراكبة خطياً من قطع ضوئية مختلفة آتيةٍ من مناطقٍ مختلفةٍ من مستوى الانعراج– ويتم تَدَبُر الأمر بتبسيط المُصور التجسيمي، والتعامل معه على أساس أنه قطع مختلفة"، كما يقول.

يبين فاتال: "أنه يمكن لأنماط الانعراج أن تعمل مع المشاهد المُختلفة –وكل ما علينا القيام به هو تغيير الكثافة النسبية لكل جزء. "وهذا يعني أخذ أفضل ما في التصوير التجسيمي من حيث جودة الصورة، مع تبسيطه وتجريده من المعلومات غير الضرورية، ومن ثم جعل المشاهد تتحرك بسرعةٍ كبيرةٍ". بالنتيجة، سوف يكون المستعملون قادرين على التفاعل مع مثل هذه الصور الثلاثية الأبعاد بالتطواف فوق شاشة الهاتف الذكي بدلاً من لمسها، كما يقول.

يقول فاتال، إن هذا التبسيط جيد إلى حدٍ كاف، وذلك بسبب محدودية نظام الرؤية البصري البشري. وإن المُصوَر التجسيمي الذي يتضمن جميع المعلومات عن مشاهد متعددة، يحتوي الكثير من المعلومات، وفيها المعلومات التي لا تُحِس بها العين البشرية لضعف حساسيتها. "لذلك، إذا كنا نعرف كيف يمكن تبسيط إعادة أداء الإجرائية في الحاسوب الثلاثي الأبعاد، دون تحميل جميع المعلومات الإضافية، وهذا يساعد على جعل الأشياء تتحرك على نحوٍ أسرع".

مراجع للتوسع

- *Nehmettah, G., and Banerjee, P.P.,* Applications of digital and analog holography in three-dimensional imaging, *Advances in Optics and Photonics, Vol. 4, Issue 4, pp. 472-553 (2012)* https://www.osapublishing.org/aop/ abstract.cfm?uri=aop-4-4-472
- *Fattal, D., Peng, Z., Tran, T., Vo, S., Fiorentino, M., Brug, J., and Beausoleil, R.G.,* A multi-directional backlight for a wideangle, glasses-free three-dimensional display, *Nature*, Vol. 497, March 21, 2013, http://www.nature.com/nature/journal/ v495/n7441/full/nature11972.html

- *Kim, M.K.*, Principles and techniques of digital holographic microscopy, *SPIE Review*, May 14, 2010, http://faculty.cas.usf.edu/mkkim/ papers.pdf/2010%20SR%201%20018005.pdf
- *Tian, L., Li, X., Ramachandran, K., and Waller, L.*, Multiplexed coded illumination for Fourier Ptychography with an LED array microscope, *Biomedical Optics Express*, Vol. 5, Issue 7, pp. 2376-2389 (2014), https://www.osapublishing.org/boe/ abstract.cfm?uri=boe-5-7-2376

البرمجيات المفتوحة المصدر لم تعد أمرًا اختياريًّا

OPEN SOURCE SOFTWARE NO LONGER OPTIONAL*

Gary Anthes
ترجمة: م. سماح راغب
مراجعة: د. رضوان قسطنطين

حَظِي التطوير والمشاركة المفتوحان للبرمجيات بقبول واسع النطاق منذ 15 عاماً، وهذه الممارسة تتسارع.

في ربيع عام 1991، جلس طالب فنلندي يبلغ من العمر 21 عاماً يدعى Linus Torvalds لكتابة رماز سيفضي في نهاية المطاف إلى ثورة في عالم تطوير البرمجيات. وقد تحدّث للعالم عن عمله في وقت متأخر من صيف ذلك العام في منشور على مجموعة أخبار في Usenet قائلاً: "أنا أطوّر نظام تشغيل (مجانيّاً) (مجرد هواية، ولن يكون كبيراً ومهنياً مثل gnu[1]) لمعالجات AT-386(486). وكتب: "أخذ نظام التشغيل هذا يختمر منذ نيسان وقد بدأ يجهز. أود معرفة الميزات التي يرغب فيها معظم الناس. أي اقتراحات هي موضع ترحيب، ولكنني لا أعِد أنني سأنفذها :-)".

في الواقع، أراد مستعملو نظام التشغيل لينوكس الكثير من الميزات على مدى ربع القرن الماضي، ولم يضطر Torvalds إلى إضافتها بنفسه. يتألف لينوكس اليوم مما يزيد على 18 مليون سطر من الرماز المصدري، ويساهم فيه نحو 12000 مطور مشارك. هناك عشرات الملايين من مستعملي لينوكس في جميع أنحاء العالم، بدءاً من أصحاب الهواتف الذكية العاملة على نظام آندرويد، مروراً بمديري مراكز بيانات الشركات، ووصولاً إلى العلماء في مراكز الحواسيب العملاقة.

إنها قصة نجاح ملحوظة بكافة المقاييس تقريباً، ويدين معظم ذلك النجاح إلى نموذج تطوير البرمجيات الذي يدعى "المصدر المفتوح". ثمة تعاريف لهذه الفكرة تتباين قليلاً فيما بينها، ولكن المصدر المفتوح يشير في جوهره إلى البرمجيات المتوفرة للعموم على شكل رماز مصدري والتي يمكن استعمالها وتعديلها وإعادة توزيعها بِحُرية ودون رسوم مقابل الترخيص (ولكن مع فرض رسوم على خدمة توزيع البرمجية في بعض الأحيان).

**نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 8، آب (أغسطس) 2016، الصفحات 15 – 17.*

[1] مختصر GNU's Not UNIX: جَمْعَةٌ من البرمجيات المبنية على نظام التشغيل UNIX، توزَّع مجاناً بواسطة مؤسسة البرمجيات الحرة. (المترجم).

لمحة تاريخية

البرامج المقدمة للعموم كصيغةٍ مفتوحة المصدر ليست فكرة جديدة. كانت البداية في خمسينيات القرن الماضي عندما نشرت مجموعة مستعملين تسمى SHARE وتعمل مع IBM تطبيقاتٍ ونافعات كرماز مصدري للاستعمال على حواسيب IBM الكبيرة. وفي السبعينيات رخصت مختبرات AT&T Bell Labs الرماز المصدري الخاص بنظام يونيكس للحكومة والباحثين الأكاديميين دون قيود إلى حد بعيد.

بدأت حركة البرمجيات المفتوحة المصدر الحديثة (OSS) مع Richard Stallman، وهو المدافع القوي عن "البرمجيات الحرة"، وهو الذي طوّر في عام 1976 محرر نصوص مفتوح المصدر سُمّي Emacs. في عام 1983، أطلق مشروع GNU لتطوير نظام تشغيل حر شبيه بنظام يونيكس والنافعات المرتبطة به، كما أسس في الوقت نفسه أيضاً مؤسسة البرمجيات الحرة Free Software Foundation غير الربحية لتعزيز التعاون على نطاق واسع على تطوير وتوزيع وتعديل البرمجيات الحرة، ويشمل ذلك برمجيات مشروع GNU مثل GNU Emacs ومترجم لغة C المسمى GCC.

ازداد إنشاء واستعمال البرمجيات المفتوحة المصدر باطّراد بعد عام 1983، غير أن المستعملين والمطورين– وخاصة الشركات الكبيرة– نظروا إليها بارتياب في كثير من الأحيان. ويسأل المستعملون: "مَن سيثق بتطبيق لمهمة حرجة كتب برمجيته حفنة من الفوضويين ذوي الشعر الطويل؟". وأراد المطورون أن يعرفوا: "لماذا عليك أن تهب المنافسين برمجية أنشِئت بنفقة كبيرة؟". يقول William Scherlis أستاذ علوم الحاسوب في جامعة كارنيغي ميلون ومدير معهد بحوث البرمجيات في الجامعة إن هذه الاعتراضات لم تعد صالحة، هذا إن كانت كذلك في أي وقت مضى. ويضيف: إن مظهر حركة المصدر المفتوح كمزيج من الفوضى والغوغائية عبارة عن خُرافة.

يقول Scherlis: "يبدو كأن مئات أو آلاف الأشخاص يساهمون من مختلف أنحاء العالم، ولكنها على العموم مجموعة أساسية صغيرة جداً تمتلك الملكية الفكرية للرماز"، ويضيف: "عادة ما يكون هناك هيكل هرمي يضمن المحافظة على السيطرة، وتمتلك المشاريع الناجحة الكبرى مثل Apache و Eclipse هياكل مدروسة للملكية والحوكمة (ownership/governance): مؤسسة Apache، مؤسسة Eclipse، وهلم جرا".

أما Allison Randal، رئيسة مبادرة المصدر المفتوح التي تدعو إلى البرمجيات المفتوحة المصدر وتحتفظ بقائمة من تراخيص البرمجيات المفتوحة المصدر الصناعية القياسية، فتقول: "إن مجتمع المصدر المفتوح أعلن من حيث الجوهر انتصاره في عام 2010، وهو الوقت الذي بحلوله قالت إنه تم تحوّل تيار الرأي بأغلبية ساحقة من برمجيات الملكية الخاصة إلى برمجياتٍ مفتوحة المصدر". وتستشهد باستطلاع حديث أجرته شركة Black Duck للبرمجيات شمل 1300 من متخصصي تقانة المعلومات أظهر أن نسبة الشركات التي يقوم عملها جزئياً أو كلياً على البرمجيات المفتوحة المصدر قد تضاعف تقريباً بين عامي 2010 و 2015 من 42% إلى 78%. وتضيف: ارتفع الرقم الذي يدل على مشاركتهم في مشاريع المصدر المفتوح من 50% في عام 2014 إلى 64% في العام الماضي.

لماذا أقوم بذلك؟

تقول Randal، وهي أيضاً مديرة التطوير في شركة Hewlett Packard: "إن الأمر يتعلق بالضرورة الاقتصادية". "إن لم يكن أي شخص آخر يستعمل المصدر المفتوح، فعندها يمكنك تجاهله، ولكن إذا استعمله الآخرون، فهم يحصلون بذلك

على شيء مجاني لا تحصل عليه أنت، ومن ثَم لديهم مِيزة. لا يمكنك أن تدير شركة ناشئة في وادي السيليكون[2] دون استعمال هذه البرمجيات".

ثم إن هناك أسباباً وراء الاستعمال المتزايد للبرمجيات المفتوحة المصدر من قِبل الشركات الكبيرة مثل HP، تقول Randal: "إنهم يتعثرون من جراء المَحافظ الضخمة لبراءات الاختراع. تشكل البرمجيات المفتوحة المصدر وسيلة جيدة للابتكار بالنسبة لهم، إذ يمكنهم التشارك في براءات الاختراع التي تخصّهم".

وتضيف: "على سبيل المثال، إن الشركات الخمسمئة المشاركة في مشروع OpenStack للحوسبة السحابية، ومنها AT&T وIBM وIntel توافق على ترخيص براءات الاختراع الخاصة بها لمؤسسة OpenStack المحايدة وغير الربحية، ومن ثَم لجميع مستعملي OpenStack ومساهميها. "اتفقت الشركات على عدم مهاجمة بعضها بعضاً بنزاعات تتعلق ببراءات الاختراع حول عملها التعاوني"، تقول راندال: "إنها مساحة آمنة لجميع هذه الشركات كي تعمل فيها".

فاجأت غوغل بعض المراقبين في العام الماضي بطرح الرماز المصدري لبرمجيتها TensorFlow للاستعمال العام، وهي مجموعة أدوات لتطوير تطبيقات التعلم العميق (deep learning)، ويشمل ذلك الشبكات العصبونية. إنها محرك الذكاء الصنعي الذي يكمن وراء تطبيقات غوغل المختلفة – مثل تطبيق صور غوغل الذي يمكنه تعرّف الأغراض في صور لم يسبق له أن رآها من قبل – حيث كان الرماز فيما سبق محظوراً على الأطراف الخارجية الراغبة في تطوير مثل هذه التطبيقات.

يذكر Jeffrey Dean وهو من الأعضاء الأساسيين في غوغل أنه بدأ قبل أربع سنوات العمل على نظام سابق للتعلم العميق يدعى DistBelief وأسفر عن أداة تطوير وإنتاج لغوغل، لكنه لم يكن مرناً بِقدْرٍ كافٍ ليتكيف مع أهداف الآخرين، ويضيف: "لو أردت تنفيذ شبكة عصبونية أكثر تميزاً، لكان من الصعب استعمال بعض تلك الأدوات". وقد طُوِّر TensorFlow من البداية ليكون مفتوح المصدر وكُتِب بحيث يكون اعتماده على أدوات غوغل الأخرى ومكتباتها الداخلية قليلاً.

ويقول Dean إن غوغل نشرت تقليدياً الأفكار الكامنة وراء تقاناتها في المجلات، وذلك بفتح مصدر TensorFlow، ذهبت غوغل أبعد من ذلك حيث سهّلت على الآخرين تجربة أفكار غوغل ورمازها في برمجياتهم الخاصة. من شأن ذلك تمكين المستعملين من تجربة تقانات مختلفة للتعلم الآلي، وإحراز تقدم قد يساعد غوغل في المقابل. يقول Dean: "تأمل أن ينشأ مجتمع بأسره حول هذا الموضوع، وسنحصل على مجموعة واسعة من المساهمين، بدءاً من الطلاب والهواة ووصولاً إلى الشركات الكبيرة".

على مدى سنوات، تخلّفت مايكروسوفت عن العديد من المطورين الآخرين في احتضانها للبرمجيات المفتوحة المصدر. وفي خطاب له عام 2001، قال النائب الأول لرئيس مايكروسوفت Craig Mundie: "يؤدي نموذج تطوير البرمجيات المفتوحة المصدر إلى احتمال كبير لتفرّع غير صحي للرماز، وينتج عنه تطوير عدة إصدارات غير متوافقة للبرامج، وضعف التشغيل البيني، وعدم استقرار المنتج، كما يعيق قدرة الشركات على التخطيط الاستراتيجي للمستقبل ... لهذا النموذج مخاطر أمنية متأصلة ويمكن أن يقحم الملكية الفكرية في المجال العام ... البرمجيات المفتوحة المصدر غير ناجحة في بناء سوق جماعي وفي تسهيل وصول المستهلكين إلى البرمجيات الفعّالة والسهلة الاستعمال على نطاق واسع".

[2] وادي السيليكون Silicon Valley هو اسم أطلق على المنطقة بين سان خوسيه وبالو آلتو في مقاطعة سانتا كلارا بولاية كاليفورنيا، نظراً لشهرتها بصناعة الحوسبة والإلكترونيات. (المترجم)

ومع ذلك، انخرطت مايكروسوفت في عام 2004 بقوة في البرمجيات المفتوحة المصدر عندما أطلقت Windows Installer XML Toolset (WiX) المفتوحة المصدر. وفي عام 2005، فتحت مايكروسوفت مصدر لغة البرمجة F#، وأتبعتها بعد مدة قصيرة بعدد من الأمور الأخرى. أطلقت مايكروسوفت العام الماضي إطار تطوير المصدر المفتوح ونواة نظام وقت التنفيذ NET.، وهو تنجيز حر لإطار عمل NET. لأنظمة تشغيل ويندوز ولينوكس وماك OS X.

تشارك مايكروسوفت الآن في أكثر من 2000 مشروعٍ مفتوح المصدر، كما يقولAnders Hejlsberg، وهو عضو تقني ومطوّر رئيسي لأداتَي C# و TypeScript المفتوحتَي المصدر. "المشاريع الجديدة اليوم مفتوحة المصدر افتراضياً، ما لم يكن هناك أسباب وجيهة لوجوب كونها عكس ذلك. إنه تحول كامل من عقلية التملّك في الأيام السابقة".

تتعاون مايكروسوفت مع غوغل على تطويرها للإصدار التالي من Angular، وهو إطار عمل واجهة المستعمل الشائع على الوب. سيجمع المشروع المفتوح المصدر بين ميزات Angular وميزاتٍ من TypeScript الخاصة بمايكروسوفت، وهي مجموعة أوسع شمولاً من جافا سكريبت. يقول Hejlsberg: "كان الأمر سابقاً على النحو الآتي "هؤلاء منافسونا، لا يمكننا العمل معهم". أما الآن، "أوه، يا إلهي، إنهم يحاولون حل المشاكل التي حللناها بالفعل، والعكس بالعكس. يجب أن نعمل معاً لمصلحة الشركتين والمجتمع ككل".

ومع أن الإيثار لمصلحة مجتمع التطوير الخارجي يؤدي دوراً في بعض الأحيان، فإن فتح مصدر نواة NET. كان في الغالب قراراً مالياً وفقاً لـ Randal من مبادرة المصدر المفتوح. "بيئة NET. قديمة جداً، وقد أصابوا حين أدركوا أنهم سيحصلون على قيمة أكبر عند طرحها كمصدر مفتوح، وسيلفتون الأنظار إلى الرماز، ويستقطبون المساهمات مرة أخرى".

يذكر Scherlis من جامعة كارنيغي ميلون أن المشاريع المفتوحة المصدر الحديثة أظهرت تركيزاً متزايداً على ضمان البرمجيات. "بوجود البرمجيات المفتوحة المصدر لدينا فرصة للقيام بعمل أفضل في تزويد المستعملين ليس بالرماز وحسْب، بل بدليل على الجودة". ويشير أنه قد يأخذ هذا شكل حالات الاختبار، أو تقييم الأداء، أو تحليلات الرماز، أو تقارير التفتيش.

السلبيات

يحذر Scherlis من الانجراف بعيداً وراء نشوة المصدر المفتوح؛ فمع أن المحاولات الرائدة مثل Apache ربما لديها حَكَم صارم، فإن بعض المشاريع ليست على هذه الحال. ويشير Scherlis كمثال على ذلك إلى عثرة الأمن المدمرة والمدمية للقلب[3] التي اكتُشفت في مكتبة OpenSSL في عام 2014؛ تركت العثرة ما يقدر بـ 50000 جهاز حاسوب موثوقٍ به عرضة لانتهاكات أمن التعمية. يقول Scherlis: "لم تكن OpenSSL تحالفاً مُمولاً تمويلاً جيداً، كانت مجرد مجموعة صغيرة تقوم بالتطوير". وأضاف "لكنها كانت جيدة جداً وضرورية جداً، لقد استعملها الجميع".

يقول Scherlis: يحلم المستعملون عندما يعتقدون أن "العديد من العيون أنعمت النظر مليّاً في هذا الرماز، ولهذا فهو جيد". ويوضح: "ربما يكون هذا صحيحاً فيما يخص العثرات السطحية، ولكنه ليس كذلك في حالة العثرات المعقدة التي تُربك جميع المشاريع –خصائص الجودة العالمية للنظام، والعيوب الهيكيلية، ومشاكل التزامن، والمشاكل الأمنية العميقة، ومشاكل التوقيت والأداء، وهلم جرا".

[3] تُعرف هذه العثرة بعثرة القلب الدامي Heartbleed. (المترجم)

وأخيراً، حذّر Scherlis من أن البرمجيات المفتوحة المصدر ليست "مجانية" بالفعل. في الواقع، سيدفع معظم المستعملين لشخص ما ليعمل على ملاءمة البرمجية كي تعمل في مراكز البيانات الخاصة بهم، وسيتحملون تكاليف الدعم والصيانة الداخلية لذلك. إذا كانت البرمجية مخصصة لمهمة حرجة، فسترغب الشركة في تخصيص موظفين للمشروع الخارجي المفتوح المصدر لضمان سدِّ احتياجاتها مع مرور الوقت.

أصبحت البرمجيات المفتوحة المصدر أعمالاً تجارية كبيرة منذ أن افتتح Stallman مؤسسة البرمجيات الحرة (Free Software Foundation). أصبحت شركة GitHub وجهةً لمطوري ومستعملي البرمجيات المفتوحة ابتداء بالشركات الكبيرة مثل آبل، وغوغل، ومايكروسوفت ووصولاً إلى آلاف من الشركات الناشئة. وفقاً لـ Brandon Keepers من GitHub، فإن الشركة تستضيف 31 مليون مشروع مفتوح المصدر يستثمره 12 مليون مطوّر.

يُثني Keepers رئيس البرمجيات المفتوحة المصدر في GitHub على الطريقة التي أطلقت فيها آبل عام 2014 لغة البرمجة المفتوحة المصدر الخاصة بها Swift. يقول Keepers: "كان أسلوبهم في الإطلاق من أكثر الأساليب التي رأيناها إثارة للإعجاب". "لقد دعَوا المجتمع إلى هذه العملية".

يتوقع Keepers أن هذه هي موجة المستقبل نظراً لأن المطورين يأخذون المصدر المفتوح على محمل الجد أكثر فأكثر. ويضيف: "إننا نرى شركات تتعامل مع إطلاقات البرمجيات المفتوحة المصدر كما تتعامل مع إطلاق المنتجات. يريدون لفت الأنظار، ولكنهم يريدون التحقق من وجود دعم للمشروع بعد إطلاقه. إذاً فأنت لا تتعامل مع المبرمجين وحسب، فهناك مديرو المجتمع، وفرق التسويق، ومديرو المنتجات الذين يراقبون تجربة المستعملين القادمة إلى المشروع".

قراءات مختارة

- *Charny, B.* Microsoft Raps Open-Source Approach, CNET News, May 3, 2001, http://www.cnet.com/news/microsoft-rapsopen-source-approach/
- Google, Interviews with Google's Angular team about their use of Microsoft's open source TypeScript, https://www.youtube.com/watch?v=hvYnjJc88OI
- Kon, F. and Souza, B., The Open-Source Ecosystem, Open Source Initiative, 2012, http://flosscc.org/spread-the-word [video]
- Meeker, H., Open (Source) for Business: A Practical Guide to Open-Source Software Licensing, CreateSpace Independent Publishing Platform, April 6, 2015, http://www.amazon.com/exec/obidos/ASIN/1511617772/flatwave-20
- Stallman, R., Free Software, Free Society: Selected Essays, 3rd ed., Free Software Foundation, Oct. 2015, http://shop.fsf.org/product/free-softwarefree-society-3-paperback/

مبدأ الدُفْعات الصغيرة

THE SMALL BATCHES PRINCIPLE*

Thomas A. Limoncelli
ترجمة: د. خالد مصري
مراجعة: د. أميمة دكاك

الحدُّ من الهدر، تشجيع التجريب وإسعاد الجميع.

سؤال: ماذا يقصد العاملون في مجال التطوير والتشغيل (DevOps)[1] عندما يتكلمون عن الدُفْعات الصغيرة؟

جواب: للإجابة عن ذلك، دعنا نلقي نظرةً على فصلٍ من الكتاب القادم *ممارسة إدارة النُظم والشبكات*، الذي سينشر لاحقاً هذا العام (2016).

أحدُ المواضيع التي يستكشفها الكتاب *مبدأ الدُفْعات الصغيرة:* من الأفضل أن نعمل بدُفْعات صغيرة من أن نعمل بقفزاتٍ كبيرة. تُمكِّننا الدُفْعات الصغيرة من تسليم النتائج بسرعةٍ أعلى، وبجودةٍ أفضل وبإجهادٍ أقل.

أبدأ بمثالٍ لا علاقة له بإدارة النُظم، لكي أوضِّح الفكرةَ العامة. وأُركِّز، بعد ذلك، على ثلاثة أمثلة مُختصَّة بتقانة المعلومات، لبيان كيفية تطبيق الطريقة، والفوائد التي تنجم عنها.

مبدأ الدُفْعات الصغيرة جزءٌ من نهج DevOps. وهو ينحدر من حركة التصنيع الخالية من الهدر[2]، التي تُسمى غالباً التصنيع في الميعاد (just-in-time JIT). ويمكن تطبيق المبدأ على أي نوعٍ من الإجرائيات التي نجريها في كثيرٍ من الأحيان. وتُمكِّن أيضاً من تطبيق نهج "المنتج بالحدّ الأدنى" (MVP)[3]، التي تنطوي على إطلاق نسخةٍ صغيرةٍ من خدمةٍ ما، للحصول على تعليقات (feedback) مُبكِّرة، تُعلِمُنا بالقرارات التي تُتّخذ لاحقاً في المشروع.

تخيَّل نجاراً يحتاج إلى خمسين قطعةٍ من ألواحٍ خشبية أبعادها 2x4، لها كلها الطول نفسه. يمكن أن نتخيل قصَّ القطع الخمسين كلها، وقياسها بعد ذلك للتحقق من أنّ قياساتها كلها صحيحة. سيكون مخيباً للآمال أن نكتشف أنّ نَصْلَ المنشار قد انحرف عند تصنيع القطعة رقم 10، وأنّ القطع من 11 حتى 50 غير قابلة للاستعمال. حينئذٍ، يجب على النجار أن يعيد تصنيع 40 قطعة.

نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 7، تموز (يولية) 2016، الصفحات 52 – 57.

[1] مختصر كلمة مركبة من دمج كلمتي التطوير (development) والتشغيل (operations)، وهي سيرورة تطوير برمجيات وتسليمها تؤكِّد التواصل والتعاون بين العاملين في إدارة المنتج وتطوير البرمجيات والتشغيل. (المترجم)

[2] (lean manufacturing movement) هي طريقة نهج للتقليل من المُخلَّفات إلى الحدِّ الأدنى في نظام تصنيع دون التضحية بالإنتاجية. (المترجم)

[3] (minimum viable product) هي تقنية تطوير يجري فيها تطوير منتجٍ جديد أو موقع وب بسِماتٍ كافية لإرضاء المستعمِلين الأُوَل، ويجري تصميم كامل السِمات بناءً على التغذية الراجعة من المستعمِلين الأُوَل. (المراجع)

هناك طريقةٌ أفضل، وهي التحقق من الطول بعد قطع كل قطعة. فإذا انحرف النصل، يكتشف النجارُ المشكلةَ فور حدوثها، وسيكون الهدر أقل.

يُبيِّن هذان النهجان الدُفعات الكبيرة مقابل الدُفعات الصغيرة. في عالم الدُفعات الكبيرة، يُنجَز العمل في دُفعتين كبيرتين: يقطع النجار كلَّ الألواح، بعدئذٍ يفحصها كلها. في عالم الدُفعات الصغيرة، يوجد تكرارات كثيرة للسيرورة برُمَّتها: قطعٌ وفحصٌ، قطعٌ وفحصٌ، قطعٌ وفحصٌ، وهلم جراً.

من فوائد نهج الدُفعات الصغيرة تقليلُ الهدر. ولأننا نكشف الخطأ أو العيب مباشرةً، فيمكننا إصلاح المشكلة قبل أن تؤثر في القطع الأخرى.

وهناك فائدةٌ أقل وضوحاً هي التلبُّث. يوجد في موقع البناء فريقٌ ثانٍ من النجَّارين يستعملون القطعَ لبناء منزلٍ. لا يمكن استعمال القطع إلَّا بعد فحصها. باستعمال الطريقة الأولى، لا يمكن للفريق الثاني أن يبدأ العمل إلّا بعد قطع كلِّ القِطَع، وفحص قطعةٍ واحدةٍ على الأقل. من المحتمل جداً تسليم القطع بدُفعة كبيرة بعد فحصها جميعاً. في مثال الدُفعة الصغيرة، تُسلَّم القطع الجديدة من دون هذا التأخير.

تربط الفقرات الآتية مبدأ الدُفعة الصغيرة بتقانة المعلومات (IT)، وتبين فوائدَ كثيرةً تتعدّى التقليل من الهدر وتحسين التلبُّث.

نشر البرمجيات في الدار(المحلية) (In-House)

يُنتج فريقٌ من المُطوِّرين في شركةٍ إصداراً جديداً كلَ ستة أشهر. عند تسليم الإصدار، يوقف فريقُ العمليات (التشغيل) (operations) كلَ شيء، وينشر الإصدار ويضعه في الإنتاج. تستغرق الإجرائيةُ ثلاثة أسابيع إلى أربعة، وهي مُجهِدةٌ جداً لجميع المعنيين. تتطلب جدولةُ وقت الصيانة (maintenance window) مفاوضاتٍ مُعقَّدة. اختبارُ الإصدار مُعقَّدٌ، ويتطلب تضافر جهود كل أعضاء الفريق. لا يعمل إرساء البرمجيات الفعلي بتاتاً من أول محاولة. فما إن تُنشر، حتى يُكتشف عددٌ من الأخطاء العالية الأهمية، ويجري إصلاح كلٍّ منها فيما بعد بإجراءات فورية (hot patches).

مع أنّ عمليةَ النشر تتطلب عملاً مُكثَّفاً، لا تجري أي محاولة لأتمتتها. للفريق حُججٌ عقلانيةٌ كثيرة تُبرِّر ذلك. تتغيَّر بِنْية الإنتاج الأساسية بين الإصدارات، مما يجعل كل إصدار هدفاً متحركاً. ويُعتقد أن أي أتمتة ستكون عديمة الفائدة في الإصدار اللاحق، لأن تعليمات إرساء كل إصدار تختلف اختلافاً مثيراً عن سابقتها. ولكون الإصدار القادم بعيداً دائماً، ثمة "مواضيع مستعجلة" (burning issue) أكبر أهميةً، يجب العمل عليها أولاً. من ثَمّ، يُقال لأولئك الَّذين يريدون أتمتة الإجرائية أن ينتظروا حتى الغد، ولا يأتي الغد أبداً. وأخيراً، يأمل الجميع سِرًّا أنه ربما، وربما فقط، ألاّ تكون دورة الإصدار القادم بهذا السوء. إن هذا التفاؤل هو انتصارٌ للأمل على التجربة.

كلُ إصدارٍ هو شهرٌ مُجهِدٌ وشاقٌ لكل المعنيين. وقد أُطلِق عليه بسرعة اسمُ شهر الجحيم. ولزيادة الطين بلّةً، تصل البرمجيات الجديدة عادةً متأخرةً، وهذا ما يجعل من المستحيل على فريق العمليات التخطيط لها سلفاً. بخاصةً، تصعب جدولة أي وقت للعطلة، مما يجعل الجميع أكثر إجهاداً وتعاسةً.

اقترح البعض، متعاطفين مع مشاكل الفريق، أن تكون الإصدارات بتواترٍ أقل، ربما كل 9 أو 12 شهراً. فمن الطبيعي، إذا كان شيءٌ ما شاقاً، أن نريد فِعلَه بتواترٍ أقل.

اقترح فريق العمليات، مفاجأةً للجميع، الذهابَ في الاتجاه الآخر. الإصدارات الشهرية.

لقد كان ذلك حالة دُفعةٍ–كبيرة. لتحسين الأداء لم تكن الشركة تحتاج إلى دُفعاتٍ كبيرة، بل إلى دُفعاتٍ صغيرة.

صُدِم الناس! هل الاقتراح أن يكون كل شهرٍ شهرَ جحيم؟

كلَّا، فالقيام بذلك بتواترٍ أكبر، سيضغط باتجاه أتمتة الإجرائية. فعندما يحدث شيءٌ بتواترٍ صغير، يكون هناك دائماً عذرٌ لتأجيل أتمتته. وستكون التغييراتُ أقل في البِنية الأساسية بين الإصدارات. إذا كان تغيير البنية الأساسية يُعطِّل أتمتة الإصدار، فمن الأسهل إصلاح المشكلة.

لا يحدث التغيير بين ليلةٍ وضحاها. فأولاً، غيَّر المطوِّرون نهجهم من ملايين الإصدارات التي تتضمن سِماتٍ جديدةٍ كثيرة، إلى تكرارات (iterations) صغيرة، لكلٍ منها بعض السِّمات الجديدة المُحدَّدة. كان ذلك تغيراً كبيراً، وكان تسويق الفكرة للفريق والإدارة معركةً طويلة.

في غضون ذلك، أتمت فريق العمليات إجرائيتي الاختبار والنشر. يمكن أن تأخذ الأتمتةُ أحدثَ رِماز وتختبره، وتنشره في منطقة الاختبار بيتا (beta-test area) في أقل من ساعة. بقي دفعُ البرمجيات إلى مرحلة الإنتاج يدوياً، ولكن بإعادة استعمال رِماز الإصدار التمهيدي بيتا، قلَّ العمل اليدوي باطرادٍ مع مرور الوقت.

في المحصلة يجري تحديث المنطقة بيتا عدة مرات يومياً. ولأنها مؤتمتةٌ، لم يكن هناك سببٌ يمنع ذلك. وهذا ما جعل الإجرائيةَ مستمرةً عوضاً عن أن تكون دوريةً. أثار كلُ تغييرٍ في الرِماز طاقم الاختبار بتمامه، وعُثِر على المشاكل في دقائق عوضاً عن الأشهر.

بقي الدفعُ إلى منطقة الإنتاج شهرياً، لأنه يحتاج إلى التنسيق بين مجموعات الهندسة والتسويق والمبيعات ودعم الزبائن وغيرها. مع ذلك، أحبت كل هذه الفرق الانتقال من جدولة غير موثوقة كل ستة أشهر إلى جدولة شهرية موثوقة. بدأت هذه الفرق سريعاً بإطلاق مبادراتٍ لمحاولة جعل الإصدارات أسبوعيةً، آملين الانتقال إلى إصدارات يومية. في عالم الدُفعة الصغيرة الجديد، لوحِظت الفوائد الآتية:

- **وصول السِمات بسرعةٍ أكبر**. في حين كانت السِمة الجديدة تستغرق في الماضي مدةً قد تصل إلى ستة أشهر للوصول إلى الإنتاج، يمكن حالياً الانتقال من الفكرة إلى الإنتاج في أيام.
- **إلغاء شهر الجحيم**. بعد مئات الدفعات الخالية من الخَلَل إلى الإصدار بيتا، كان الدفع إلى الإنتاج أسهل.
- **أصبح بإمكان فريق العمليات التركيز على مشاريع ذات أولوية أعلى**. لم يَعُد الفريق معنياً مباشرةً في إصدارات البرمجيات وإنما بإصلاح الأتمتة، ونادراً ما تحتاج لذلك. حرَّر هذا الأمرُ الفريقَ للتفرغ لمشاريع أكبر أهميةً.
- **عوائقٌ أقل لإصلاح العثرات**. الخطوة الأولى لإصلاح عثرةٍ ما هي تحديد التغيير في الرِماز المسؤول عن العثرة. في إصدارات الدُفعات الكبيرة هناك مئات أو آلاف التغييرات التي يجب فرزها لتحديد المسؤول عن العثرة. في حالة الدُفعات الصغيرة، عادةً ما يكون واضحاً تماماً مكان العثرة.
- **إصلاح العثرات في زمنٍ أقصر**. إن إصلاح عثرةٍ في رِمازٍ كُتِب قبل ستة أشهرٍ خلت أكبرُ صعوبةٍ بكثير من إصلاح عثرةٍ في رِمازٍ ما زال حاضراً في ذهنك. في الدُفعات الصغيرة، يجري الإبلاغ عن العثرات بعد وقتٍ قصير من كتابة الرِماز، مما يعني أن بإمكان المطوِّرين إصلاحها بخبرةٍ أكبر في مدة زمنية أقصر.
- **شَعَرَ المطوِّرون برضًى فوري**. إن انتظار ستة أشهرٍ كي ترى نتائج جهودك أمرٌ محبط. في حين أنّ رؤية رِمازك وهو يساعد الناس بعد مدةٍ قصيرةٍ من كتابته أمرٌ مُفرح.

- **الشيء الأكبر أهميةً، أنه بإمكان فريق العمليات أخيراً أخذ إجازاتٍ طويلة.** هذا النوع من الإجازات يتطلب تخطيطاً وجدولةً سابقين، مما يتيح لهم سبيلاً لاستعادة نشاطهم، والعيش عيشاً أجود صحةً.

مع أنّ هذه الفوائد التقنية جديرةٌ بالاهتمام، فإن فوائد الأعمال أشدّ إثارةً:

- **تحسَّنت قدراتهم التنافسية.** أدَّت الثقةُ بالقدرة على إضافة السِمات وإصلاح العثرات إلى أن الشركة أصبحت أكثر جرأةً على التصدي للسِمات الجديدة وضبط السِمات الحالية. لاحظ الزبائن ذلك وتحسَّنت المبيعات.
- **فرصٌ ضائعة أقل.** كان فريقُ المبيعات سابقاً قد انصرف عن المشاريع التجارية (business)، لعدم قدرة الشركة على التحرك السريع والاستفادة من الفرص عند ظهورها. أمّا الآن فقد استطاعت الشركة دخول أسواقٍ لم تتخيلها قَبْلاً.
- **مكّنَت من ثقافة الأتمتة والاستمثال.** أزالت الإصدارات السريعة الأعذارَ الشائعة لعدم الأتمتة. فقد جلبت الأتمتة الجديدة الاتساق، والتكرارية، وتدقيقاً أفضل في الخطأ، وجهداً يدوياً أقل. إضافةً إلى ذلك، يمكن تنفيذ الأتمتة في أي وقت، وليس فقط حين يكون فريق العمليات متاحاً.

إجرائية التبديل إلى النظام الاحتياطي

يقع موقع الوب الرئيسيّ لـ Stack Overflow[4] في مركز معطيات في مدينة نيويورك. فإذا تعطَّل مركز المعطيات، أو احتجنا لتوقيفه بهدف الصيانة، تُشغَّل تجهيزات وبرمجيات مُكرَّرة (نسخة طِبْق الأصل) في حالة التأهب (stand-by)، في مدينة أوريغون (Oregon).

إنّ إجرائية التبديل إلى النظام الاحتياطي (failover process) مُعقدةٌ. يجب نقل قواعد المعطيات الرئيسة (masters)، وإعادة تشكيل الخدمات. وهذا يستغرق وقتاً طويلاً، ويتطلب مهاراتٍ من أربع فرقٍ مختلفة. في كل مرةٍ يجري الانتقال إلى النظام الاحتياطي، فإنه يتعطل بطرقٍ جديدةٍ ومثيرةٍ تتطلب حلولاً خاصةً بها بالذات (adhoc) يبتدعها كلُ من ينفذ الإجراء كائناً من كان.

بعبارةٍ أخرى، فإن إجرائية التبديل إلى النظام الاحتياطي محفوفةٌ بالمخاطر. عندما جرى تعيين توم (Tom) في (Stack)، كان أول تفكيره " آمل ألاّ أكون مناوباً (on call)، عندما يحدث مثل هذا النوع من حالة الطوارئ."

إن القيادةَ في حالة الثمالة محفوفةٌ بالمخاطر، لذلك فإننا نتجنَّب القيام بذلك. التبديل إلى النظام الاحتياطي محفوفٌ بالمخاطر أيضاً، لذلك يجب أن نتجنَّبه. أليس كذلك؟

لا، هذا خطأ. هناك فرقٌ بين السلوك والإجرائية. فالسلوكيات الخطرة محفوفةٌ بالمخاطر بطبيعتها؛ ولا يمكن جعلها أقل خطورةً. فالقيادة في حالة الثمالة سلوكٌ محفوفٌ بالمخاطر. ولا يمكن القيام به بأمان، يمكننا فقط تجنبه.

إنّ إجرائية التبديل إلى النظام الاحتياطي محفوفةٌ بالمخاطر. يُمكن جعلها أقل خطراً بتنفيذها بتكرارية أكبر.

استغرقت محاولة التبديل إلى النظام الاحتياطي التالية في موقع Stack Overflow، 10 ساعات. اختلفت البنية الأساسية في نيويورك عن أوريغون اختلافاً كبيراً. اختُبر الرِماز الذي كان من المفترض أن يجري التبديل إليه بسلاسة،

[4] Stack Overflow هو موقع وب خاص، وهو الموقع الرئيس لـ Stack Exchange Network الذي أُنشئ في عام 2008، ليكون بديلاً أكثر انفتاحاً لمواقع سؤال وجواب (question and answer sites) السابقة. (المترجم)

بشكلٍ معزول، وفشل عند استعماله في بيئة حقيقية. اكتُشِفت ارتباطات غير متوقعة، مولِّدةً في بعض الحالات أوضاعاً متناقضة[5] يجب حلها فورياً.

كانت هذه المِحنة التي دامت 10 ساعات نتيجة الدُفعات الكبيرة. ولأن التبديل إلى النظام الاحتياطي يحدث نادراً، فقد كان هناك تراكمٌ في حَيَدان البِنية الأساسية، والارتباطات، والرِّماز القديم (stale code). كان هناك أيضاً تراكمٌ في الجهل: الموظفون الجُدُد لم يشهدوا الإجرائية مطلقاً؛ وخرج آخرون عن الممارسة (الخدمة).

لإصلاح هذه المشكلة قرّر الفريق إجراء المزيد من التبديل إلى النظام الاحتياطي. كان حجم الدُفعة بعدَد التغييرات المتراكمة والأشياء الأخرى التي أدّت إلى مشاكلَ أثناء التبديل إلى النظام الاحتياطي. عوضاً عن ترك حجم الدُفعة ينمو وينمو، قرّر الفريق إبقاءه صغيراً. عوضاً عن انتظار الكارثة الحقيقية التالية للقيام بإجرائية التبديل إلى النظام الاحتياطي، فإنهم تعمدوا افتعال الكوارث.

قد يبدو مفهوم تفعيل إجرائية التبديل إلى النظام الاحتياطي على نظام يعمل على نحوٍ كاملٍ أمراً عجيباً، ولكن من الأفضل اكتشاف العثرات والمشاكل الأخرى في حالةٍ مسيطرٍ عليها من اكتشافها أثناء حالة الطوارئ. إن اكتشاف عثرةً أثناء حالة طوارئ في الساعة الرابعة صباحاً أمرٌ مزعج، فقد لا يكون أولئك الذين يمكنهم إصلاحها جاهزين– وإذا كانوا جاهزين، فهم بالتأكيد غير سعداء بإيقاظهم. بتعبيرٍ آخر، من الأفضل اكتشاف مشكلةٍ ما يوم السبت في الساعة العاشرة صباحاً عندما يكون الجميع مستيقظين، جاهزين، ويفترض أن يكونوا صاحين.

إذا كان بإمكان أطفال المدارس أن يتدربوا على الحرائق مرةً شهرياً، فمن المؤكد أنه يمكن لمديري النُظُم أن يمارسوا إجرائيات التبديل إلى النظام الاحتياطي بضع مرات سنوياً. بدأ الفريق تدريبات التبديل إلى النظام الاحتياطي كل شهرين، حتى أصبحت الإجرائية متقنةً.

أبرز كلُ تدريبٍ مشاكلَ في الرِماز، والتوثيق، والإجراءات. جرى تصنيف كل مشكلة على أنها عثرة، وجرى إصلاحها قبل التدريب التالي. استغرق التبديل إلى النظام الاحتياطي التالي خمس ساعات، وبعدئذٍ ساعتين، ومن المحتمل أن تستغرق التدريبات ساعةً واحدة من دون أن يلاحظ المستعملون أي زمن توقف.

وجدت الإجرائية تغيرات في البنية الأساسية لم تكن مطابقةً في أوريغون ورِمازاً لم يجري التبديل إليه على نحوٍ صحيح. وجرى تحديد خدماتٍ جديدة لم تُصمّم للتبديل إلى النظام الاحتياطي السلس. اكتُشِفت إجرائية يمكن أن يجريها مهندس معيَّن واحد. وإذا كان في إجازة أو غير متاحٍ فإن الشركة ستقع في ورطة. إنه عُطْل نقطي[6] (single point of failure).

على مدار عام، جرى إصلاح كل هذه المواضيع. جرى تغيير الرِماز، وتطوير اختبارات تمهيدية أفضل، لقد أعطت التدريبات كل عضوٍ من فريق هندسة موثوقية الموقع (site reliability engineering SRE) الفرصةَ لتعلم الإجرائية. في نهاية المطاف، جرى تبسيط الإجرائية الشاملة، وأصبحت أتمتتها أسهل. تضمَّنت الفوائدُ التي لاحظها الموقعُ Stack Overflow ما يلي:

- **مفاجآت أقلّ**. كلما كانت التدريبات بتواترٍ أعلى، أصبحت الإجرائية أكثر سلاسةً.

[5] catch-22 situation هو وضع متناقض لا يمكن للشخص أن يفر منه بسبب القواعد المتناقضة. وضع هذا المصطلح جوزيف هيلر (Joseph Heller) الذي استعمله في روايته catch-22 في عام 1961. (المترجم)

[6] A single point of failure هو جزءٌ من النظام إذا تعطل توقف النظام كله عن العمل. (المترجم)

- **مخاطراً أقلّ.** كان الإجراء أكثر موثوقيةً لوجود عددٍ أقل من العثرات الخفية التي تنتظر الانقضاض.
- **ثقة أكبر.** كان للشركة ثقةٌ أكبر في الإجرائية، مما يعني أن بإمكان الفريق التركيز على قضايا أكبر أهميةً الآن.
- **إصلاح العثرات بسرعةٍ أكبر.** إن خفض تراكم تغييرات البنية الاساسية والرِماز، يعني أن كلّ تدريبٍ يختبر عدداً أقلّ من التغييرات. وهذا سهَّل تحديد العثرات وسرَّع إصلاحها.
- **إصلاح العثرات أثناء ساعات العمل.** عوضاً عن الاضطرار إلى إيجاد الحلول أو إجراء الإصلاحات في ساعاتٍ غريبة حين يكون المهندسون نائمين، يجري العمل على ذلك أثناء النهار، حين يكون المهندسون هناك لمناقشة الإصلاحات وإجرائها بجودةٍ أعلى.
- **تدريب تصالبي أفضل (cross training).** الممارسةُ تصنع الكمال. يقوم كل عضوٍ من أعضاء فريق العمليات بدوره في إنجاز الإجرائية في بيئةٍ يمكنهم فيها الحصول على المساعدة بسهولة. لا يوجد أي شخص يُشكِّل عُطْلاً نقطياً.
- **تحسين توثيقٌ الإجرائية وأتمتتها.** تَحَسَّن التوثيق أثناء تنفيذ التدريب. وكانت الأتمتة أسهلَ كتابةً، فقد ساعد التكرارُ (repetition) الفريقَ على رؤية ما يمكن أتمتته والأجزاء التي تستحق الأتمتة أكثر من غيرها.
- **اكتشاف فُرَصٍ جديدة.** كانت التدريبات مصدراً كبيراً للإلهام للمشاريع ذات الصورة الشاملة التي تُحسِّن العمليات جذرياً.
- **مُطوِّرون أكبر سعادةً.** كان احتمال الاستيقاظ في الساعة الرابعة صباحاً أصغر.
- **فريق عملياتٍ أكثر سعادةً.** قلَّ الخوف من التبديل إلى النظام الاحتياطي، مما خفّض التوتر. إن تدريب عددٍ أكبر من الأشخاص على إجراء التبديل إلى النظام الاحتياطي يعني توتراً أضعف لدى الأشخاص الذين كانوا سابقاً نقاط عُطْل وحيدة.
- **روحاً معنويةً أفضل.** كان بإمكان العاملين جدولة إجازاتٍ أطول ثانيةً.

مرةً أخرى، أصبحت جدولة الإجازات الطويلة أسهل.

مشروع المراقبة

احتاجَ قسم تقانة المعلوماتية (IT) إلى نظام مراقبة. فقد ازداد عدد المُخدِّمات إلى حدٍّ لم يَعُد عنده الوعي الظرفي[7] (situational awareness) ممكناً بالطرق اليدوية. أدّى عدم وضوح الرؤية فيما يتعلق بالشبكة الخاصة بالشركة إلى جعل الزبائن أول من يعلن انقطاعَ الخدمة في غالب الأحيان، وكثيراً ما يحدث هذا بعد أن يكون الانقطاع قد استمر ساعاتٍ، وأحياناً أياماً.

كان لفريق إدارة النظام رؤيةً شاملة لما سيكون عليه نظام المراقبة الجديد. تجري مراقبة جميع الخدمات والشبكات، ويُنفذ نظام المراقبة على آلتين كبيرتين وقويتين، وعند اكتشاف المشاكل يُعْمد إلى جدول استدعاءٍ متقدمٍ لتحديد الأشخاص الذين يجب إعلامهم.

[7] الوعي الظرفيّ هو إدراك العناصر والأحداث المحيطية فيما يتعلق بالزمان والمكان، وفهم معانيها وإسقاط حالتها بعد تغير بعض المتحولات مثل الوقت، أو متحولات أخرى مثل حدثٍ محددٍ سلفاً. المترجم

بعد ستة أشهرٍ من بداية المشروع لم يكن للفريق نظام مراقبة. انشغل الفريق في نقاشاتٍ لا نهاية لها بشأن كل قرار تصميم: استراتيجية المراقبة، كيفية تسجيل خدماتٍ معينة، كيفية التعامل مع تدوير جهاز النداء إلخ. كانت تكلفة العتاديات وحدها عاليةً لدرجة أنها تتطلب عدة مستويات من الموافقات.

منطقياً، لا يمكن بناء نظام المراقبة قبل انتهاء التخطيط، ولكن، ويا للأسف، يبدو أن التخطيط لن ينتهي أبداً. فكلما ازدادت مناقشة الخطط، برزت قضايا أخرى بحاجةٍ للمناقشة. وكلما طال أمد التخطيط، قلَّ احتمال نجاح المشروع.

بالأساس لديهم مشكلة دُفعة كبيرة. أرادوا بناء نظام مراقبةٍ كاملٍ بدُفعةٍ كبيرة واحدة. وهذا غير واقعي.

اعتمد الفريق استراتيجيةً جديدة: دُفعاتٍ صغيرة. عوضاً عن بناء نظام مراقبة كامل، يبنون نظاماً صغيراً ويطوّرونه.

في كل خطوة، هم قادرون على عرض هذه الخطوة على زملائهم في العمل وزبائنهم، للحصول على تعليقاتهم. يُمكنهم التحقق من صحة المسَّلمات على أرض الواقع، وأخيراً وَضْعُ حدٍّ للنقاشات اللانهائية التي أنتجتها وثائق المتطلبات. بمراقبة شيءٍ ما–أي شيء– يمكنهم تعلّم حقيقة الأجزاء التي تعمل على نحوٍ أفضل.

إن النُظم الصغيرة أكثرُ مرونةً وطواعيةً: لذلك يمكن تجريبها بسهولةٍ أكبر. ستعمل بعض التجارب على نحوٍ جيد، ولن يعمل البعض الآخر. مع ذلك، ولأنها تُبقي على الأشياء صغيرةً ومرنةً، يسهل التخلص من الأخطاء. وهذا من شأنه تمكين الفريقَ من التمحور، أي تغيير الاتجاه اعتماداً على النتائج الحديثة. من الأفضل التمحور باكراً في إجرائية التطوير عوضاً عن إدراك أنك بنيت شيئاً لا يُعجب أحداً في خضم الإجرائية.

تُسمي غوغل (Google) ذلك "أطلِق باكراً ومِراراً" (launch early and often). أطلِق في أبكر وقتٍ ممكن، حتى لو كلّف ذلك التخلي عن معظم السِمات، والإطلاق لعددٍ قليلٍ مُنتقى من المستعملين فقط. يُعلِمُك ما تتعلمه من الإطلاقات الباكرة بالقرارات اللاحقة، ويُنتج خدمةً أفضل في النهاية.

كذلك، يمنحك الإطلاقُ الباكر والمتكرر الفرصةَ لبناء بِنيةٍ أساسية جاهزة للعمل في وقتٍ مُبكِّر. تبني بعض الشركات خدمةً لمدة عام ثمّ تُطلقها، مُعلِمةً فريق العمليات قبل أسبوع فقط. سيكون لدى فريق تقانات المعلومات (IT) القليل من الوقت لتطوير الممارسات العملياتية مثل النسخ الاحتياطية، وكتيبات الاستدعاء (on-call playbooks) وما إلى ذلك. سيجري إعداد هذه الأشياء بشكلٍ سيئ. مع استراتيجة أطلِق باكراً ومِراراً"، تكسب خبرة عملياتية باكراً ويكون لديك ما يكفي من الوقت للقيام بها على نحوٍ صحيح.

يُعرف ذلك أيضاً باستراتيجية MVP. كما عرَّفها إيريك رايز (Eric Ries) في عام 2009، "المنتج بالحدود الدنيا (minimum viable product) هو تلك النسخة من منتجٍ جديد التي تسمح للفريق بتجميع أكبر قدرٍ ممكن من المعلومات الموثوقة عن الزبائن بأقل جهد (انظر الوثيقة: "Minimum Viable Product: A Guide;" http://www.startuplessonslearned.com/2009/08/minimum-viableproduct-guide.html). بتعبيرٍ آخر، عوضاً عن التركيز على وظيفية جديدة في كل إصدار، ركِّز على اختبار فرضية معينة في كل إصدار.

اعتمدَ الفريقُ الذي بنى نظام المراقبة استراتيجيةَ الإطلاق الباكر والمتكرر. وقرّر أن تستغرق كل تكرارة، أو دُفعة صغيرة أسبوعاً واحداً. في نهاية الأسبوع، يصدّرون ما جرى تنفيذه في بيئتهم التجريبية بتا (beta) إلى بيئتهم الإنتاجية، ويطلبون تعليقاتٍ من الأطراف المعنية (stakeholders).

كي تنجح هذه الاستراتيجية كان عليهم اختيار قطعٍ صغيرةٍ جداً من العمل. لنأخذ مقولة جيسون بونيون (Jason Punyon) و Kevin Montrose (حسن الإدارة: العطل دائماً خيار") "providence: Failure is always an option;")

(http://jasonpunyon.com/blog/2015/02/2012/providence-failure-is-always-an-option/، ويسمون هذا "ما يمكن إنجازه بحلول يوم الجمعة؟"– التطوير المَقود.

كان هدفُ التكرارة 1 مراقبةَ بضعة مُخدِّمات للحصول على تعليقاتٍ من مختلف الأطراف المعنية. أنشأ الفريق نظام مراقبةٍ مفتوح المصدر على آلة افتراضية. كان ذلك شديدَ التناقض مع خطتهم الأصلية لنظامٍ قابل للتوسع إلى حدٍّ بعيد. للآلات الافتراضية عددٌ أقل من المداخل والمخارج I/O والقدرة الشبكية (network horsepower) من نظيراتها من الآلات المادية. ولكن، لا يمكن طلب العتاديات وتسليمها خلال إطارٍ زمني يمتد على أسبوعٍ واحد. لذلك استعملت التكرارة 1 الآلات الافتراضية. وهذا ما كان يمكن إنجازه قبل يوم الجمعة.

في نهاية هذه التكرارة، لم يكن لدى الفريق نظام المراقبة الذي كانوا يحلمون به، ولكن كان لديهم قدرةً على المراقبة أكبر من أي وقتٍ مضى.

لقد تعلَّموا في هذه التكرارة أن البروتوكول البسيط لإدارة الشبكة (Simple Network Management Protocol SNMP) قد أُلغي تأهيله على معظم التجهيزات الشبكية للمؤسسات. وعليهم التنسيق مع فريق الشبكات إن أرادوا الحصول على إحصاءات استعمال الشبكة والإحصاءات الأخرى. إنّ تعلُّم ذلك الآن أفضل من خسارة إصدارهم الرئيسي، باكتشاف ذلك أثناء النشر النهائي الشامل. للتغلب على ذلك، قرَّر الفريق التركيز على مراقبة الأشياء التي يمكنهم التحكم فيها، مثل المُخدِّمات والخدمات. أعطى ذلك فريقَ الشبكات الوقتَ الكافي لإنشاء مشروعٍ لتمكين SNMP بطريقة آمنة ومُختَبرة وتنجيز هذا المشروع.

نُفِّذَت التكرارتان 2 و 3 تنفيذاً جيداً، وجرت إضافة المزيد من الآلات، واختبار خيارات تشكيلٍ وسِماتٍ أخرى.

مع ذلك، لاحظ الفريق أثناء التكرارة 4، أنّ مديري النظام الآخرين لم يستعملوا النظام كثيراً. كان ذلك مثيراً للقلق. توقف الفريق للتحدث مع الناس فرداً فرداً للحصول على تعليقاتٍ صادقة.

تعلَّم الفريق أنه من دون القدرة على امتلاك لوحات (dashboards) تُظهر البيانات الماضية (historical)، لن يكون النظام مفيداً جداً لمستعمليه. لم تبرز هذه القضية أبداً في كل النقاشات السابقة. اعترف معظمهم أنهم لم يدركوا أهمية الأمر حتى رأووا النظام في حالة العمل؛ ولم يُثر آخرون هذه القضية لأنهم افترضوا ببساطة أن لكل نُظُم المراقبة لوحات.

لقد حان وقت التمحور.

كان للحزمة البرمجية التي كوّنت الخيار الثاني للفريق لوحاتٌ ذات قدراتٍ متقدمةٍ جداً. أهمّ من ذلك، أنه يمكن لكل مستعملٍ تشكيلَ اللوحات وملاءمتها حسب الطلب. كانت اللوحات ذاتية الخدمة.

بعد الكثير من النقاشات، قرَّر الفريق أن يتمحور حول حزمةٍ برمجيةٍ أخرى. في التكرارة التالية، قام الفريق بتهيئة البرمجية الجديدة وإنشاء مجموعةٍ مكافئةٍ من التشكيلات. وقد حدث ذلك بسرعةٍ كبيرةٍ، بسبب إعادة استعمال الكثير من العمل من التكرارات السابقة: القراراتِ المتعلقةِ بما يُراقَب وكيف؛ والعملِ الذي أنجزه فريق الشبكات وهلم جرا.

قبل التكرارة 6، كان الفريق كله يستعمل البرمجيةَ الجديدة بفعاليّة. هيأ المديرون اللوحات لإظهار المقاييس المفتاحية الهامة لهم. وكان الناس متحمسين للنظام الجديد.

حدث شيءٌ مثيرٌ للاهتمام في ذلك الوقت: تعطَّل مُخدِّمٌ رئيسي صباح يوم السبت. أنذرَ نظامُ المراقبة فريقَ إدارة النظام، الذي كان قادراً على إصلاح المشكلة قبل وصول العاملين إلى المكاتب يوم الإثنين. في الماضي، حدثت

انقطاعاتٌ مماثلة، ولكن لم تبدأ الإصلاحات قبل وصول فريق إدارة النظام صباح يوم الإثنين بعد وصول معظم العاملين. أظهر ذلك للإدارة، قيمةَ النظام بطريقةٍ ملموسةٍ جداً.

كان هدف التكرارة 7 كتابةَ مقترحٍ لنقل نظام المراقبة إلى آلاتٍ ماديةٍ لتوسيعه على نحوٍ أفضل. بحلول هذا الوقت، كان المديرون الذين سيقرُّون هذا الشراء يستعملون النظام بحماسة؛ وأصبح الكثيرون خبراءَ بإنشاء ألواحٍ حسب الطلب. جرى تبرير نقل النظام إلى عتاديات مادية للحصول على توسعةٍ وأداءٍ أفضل، ولاستعمال نسخةٍ احتياطيةٍ عن مجموعة العتاديات لموقعٍ ساخنٍ احتياطيٍ في مركز معطياتٍ آخر.

أُقرَّت الخطة.

في التكرارات المستقبلية أصبح النظام أكثر قيمةً للمؤسسة، مع تنجيز الفريق سِماتٍ مثل جدولٍ زمني للمناوبة on-call أكثر تقدماً، مراقبة المزيد من الخدمات، وهلُم جرا. تضمَّنت فوائد الدُفعات الصغيرة التي لاحظها فريق إدارة النظام:

- **يمنع اختبارُ الافتراضات باكراً الجهدَ الضائع**. تعني القدرة على إحداث العُطْل باكراً ومراراً أن بإمكان الفريق التمحور pivot. وبإمكانه إصلاح المشاكلَ عاجلاً وليس آجلاً.
- **يبني تزويدُ القيمة باكراً زخماً** لدى الناس. يُفضِّل الناس الحصول على بعض السِمات اليوم من الحصول على كل السِمات غداً. بعض المراقبة أفضل من عدم المراقبة البتة. رأى الرافضون النتائجَ وأصبحوا محامين عنها. للإدارة خبرةٌ لإقرار شيء ليس افتراضياً على نحوٍ أسهل.
- **التجريب أسهل**. غالباً، يُنشئ الناس ارتباطاً عاطفياً مع الرِماز. في حالة الدُفعات الصغيرة، هم أكثر رشاقةً لأنهم تطوّروا بارتباطٍ أقل بالقرارات السابقة.
- **الرضا الفوري**. رأى الفريقُ نتائجَ أعمالهم بسرعةٍ أكبر، مما عزَّز المعنويات.
- **الفريق كان أقل إرهاقاً**. لا يوجد تاريخُ استحقاقٍ مخيف، بل مُجرَّد دفقٍ من السِمات الجديدة.
- **نقاش الدُفعة الكبيرة مُجرد مماطلة**. دار معظم النقاش سابقاً حول التفاصيل والسِمات التي ليس لها أهمية أو التي لم تُنجَّز قط.

كانت الأسابيع الأولى هي الأقسى. تطلب التشكيل الأولي مهاراتٍ خاصة. مع ذلك، ما إن نُفِذ التشكيل، حتى تمكّن الأشخاص الذين لديهم مهاراتٍ تقنية أو رغبةٍ أقل إضافةَ قواعد وصنع لوحات. بتعبيرٍ آخر، بأخذ زمام المبادرة وإنشاء الدعامات يمكن للآخرين أن يتابعوا. هذه نقطة هامة في القيادة التقنية. تعني القيادة التقنية المضي أولاً وجعل الأمور أسهل حتى يتابع الآخرون.

إحدى فوائد استعمال نموذج المنتج بالحد الأدنى (MVP) أن النظام يعمل دائماً. يُسمى ذلك "أن تكون دائماً جاهزاً للتوريد" (always being in a shippable state). النظام يعمل دائماً، ويوفِّر فوائد، حتى لو لم تُسلّم كل السِمات. من ثمّ، إذا انشغل الفريقُ بمشاريع أكثر إلحاحاً، يبقى النظام قابلاً للاستعمال وشغّالاً. لو استمرت خطة الدُفعة الكبيرة الأصلية، لتركَ ظهورُ مشاريع أكثر إلحاحاً النظامَ نصف متطورٍ أو حتى من دون طرح. ولذهب العمل الذي أُنجز سابقاً سدًى.

الملخص

لماذا الدُفعات الصغيرة أفضل؟

تُثمر الدُفعات الصغيرة زبائن أكثر سعادةً. تُسلَّم السِمات بوقت تلبثٍ أقصر. ويجري إصلاح العثرات بسرعة أكبر.

تُقلِّل الدُفعات الصغيرة المخاطر. يُقلِّل اختبار الفرضيات احتمال الأعطال المستقبلية. يكتسب معظم الناس خبرةً في الإجراءات، مما يعني تحسُّن مهاراتنا.

تُقلِّل الدُفعات الصغيرة الهدر. وهي تتفادى النقاشات التي لا نهاية لها و"الميل إلى الكمال" الذي كان يؤخر انطلاق الفريق. ويخنصر وقت تنجيز سِماتٍ لا تُستعمل. وفي حال ورود مشاريع لها أولوية أعلى، يكون الفريق قد سلَّم نظاماً قابلاً للاستعمال.

تُحسِّن الدُفعاتُ الصغيرة القدرةَ على الإبداع. لأنها تُشجع التجريب، وتُمكِّن الفريق من اختبارَ أفكارٍ جديدة والحفاظ على الجيدة منها. يمكننا المخاطرة. فنحن أقل ارتباطاً بالقطع القديمة التي يجب التخلص منها.

تُحسِّن الدُفعاتُ الصغيرة الإنتاجية (productivity). وتُصْلح العثرات بسرعةٍ أكبر وتُسرَّع إجرائية إصلاحها لأن الرِماز ما زال حاضراً في الذهن.

تُشجِّع الدُفعاتُ الصغيرة الأتمتة. تتلاشى أعذار الامتناع عنها حين لا يكون هناك بدٌ من حدوث شيءٍ ما مراراً.

تُشجِّع الدُفعاتُ الصغيرة التجريب. يُمكن أن يُجرِّب الفريقُ أشياءَ جديدة– حتى الأفكار المجنونة، التي يُمكن أن يتحول بعضها إلى سِماتٍ قاتلةٍ للتنافس (competition-killing). نخشى الأعطال بقدرٍ أقل، لأنه يُمكننا بسهولة التراجع عن دُفعة صغيرة إذا فشلت التجربة. وأهمّ من ذلك، أن التجريب يسمح للفريق تعلمَ ما يساعده في إجراء تحسينات مستقبلية.

تجعل الدُفعات الصغيرة مديري النظام أكثر سعادةٍ. نحصل على رضًى فوري، ويختفي شهر الجحيم. إنها ببساطة طريقةٌ أفضل للعمل.

مقالاتٌ ذات صلة على الموقع queue.acm.org

Breaking The Major Release Habit, Damon Poole, http://queue.acm.org/detail.cfm?id=1165768

Power-Efficient Software, Eric Saxe, http://queue.acm.org/detail.cfm?id=1698225

Adopting DevOps Practices in Quality Assurance, James Roche, http://queue.acm.org/detail.cfm?id=2540984

المؤلف

توماس أ. ليمونسيللي (Thomas A. Limoncelli) مهندس موقع موثوقية في شركة Stack Overflow في مدينة نيويورك. يظهر عموده كل شيء عن إدارة النظام (Everything Sysadmin) في مجلة acmqueue (http://queue.acm.org)؛ ويُدَوِّن في EverythingSysadmin.com.

الأليافُ الضوئية آخذةٌ بالامتلاء

OPTICAL FIBERS GETTING FULL*

Don Monroe
ترجمة: د. يمن الأتاسي
مراجعة: د. أحمد الحصري

استكشاف طرائق لدفع المزيد من المعطيات في ليف ثخانته عشر ثخانة شعرة إنسان.

لقد ازداد منذ انتشار استعمال الألياف الضوئية في الاتصالات في سبعينيّات القرن الماضي عددُ البِتات التي ينقلها ليف واحد في الثانية زيادة مذهلة تقارب 10 ملايين مرة، مما سمح بتحقيق زيادة هائلة في حركة المعطيات الكلية، ويشمل ذلك مكالمات الهاتف الخلوي التي تمضي معظم وقتها على هيئة بِتات تنتقل ضمن الليف.

يخضع التنامي الأسّيّ لقانون مور في الدارات المتكاملة. ولقد اقترح صحفي التقانة جيف هيشت (Jeff Hecht) تسمية نسخة الألياف قانون كيك (Keck's Law) نسبة إلى الباحث دونالد كيك (Donald Keck) من شركة كورنينغ (Corning) الذي ساعدت تحسيناته لشفافية الزجاج في أوائل السبعينيّات على انطلاق ثورة الاتصالات. ومع ذلك، فإنّ بساطة هذين القانونين تحجبان موجات الابتكار المتكررة التي تدعمهما ويبدو أنّ كليهما يقترب من حدود أساسية.

مع ذلك ما يزال لدى باحثي الألياف بعض الأوراق ليلعبوا بها. وتستطيع الصناعة إذ اقتضت الحاجة تركيب المزيد من الألياف وذلك بآلية مشابهة لتلك التي خففت بها المعالجات المتعددةُ الضغطَ عن إشباع سُرع الميقاتيّات. لكنْ قد لا تولِّد الحلول الجديدة نفس الاقتصاد في الطاقة والتكلفة الذي ساعد على انفجار تقانة الاتصالات.

أصبح الليف الضوئي أداة عملية، عندما أدرك الباحثون كيفية تنقية المواد وتصنيع أليافٍ ذات شفافية غير معهودة، عن طريق استعمال لبٍّ ذي معامل انكسار عال لاحتجاز الضوء عميقاً ضمن غمد أوسع. تلا ذلك تحسيناتٌ خفّضت من الضَّياع في الليف حتى بلغ مستواه الحالي، وهو 0.2 dB/km عند موجات الضوء تحت الأحمر قريباً من 1.55μm. يمكن لحزمة ليزر مرمَّزة ببتّات عن طريق التشغيل والإطفاء أن تنقل الصوت أو المعطيات إلى عشرات الكيلومترات دون كشفها ثم إعادة إرسالها من جديد. وفي السنوات التي تلت ذلك، ازداد معدل بثّ البِتات زيادة مطَّرِدة بفضل مرسلاتٍ ومستقبلات أعلى سرعة وتصميم أليافٍ تخفّض توسّع النبضات إلى الحد الأدنى.

ومع بدء تناقص سرعة التحسينات، أدرك الباحثون أنهم يستطيعون إرسال معلومات أكثر عبر الليف عن طريق دمج أضواء بأطوال موجية مختلفة قليلاً فيما بينها، بحيث يحمل كل منها تدفّق معطياته الخاص. يجري دمج الحزم الضوئية ضمن ليف واحد ثم يعاد فصلها في النهاية الأخرى باستعمال أجهزة عالية التقانة كالمواشير التي تحلل الضوء الأبيض إلى الألوان التي يتركب منها.

نُشِر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 10، تشرين الأول (أكتوبر) 2016، الصفحات 10 – 12.

ساعدت مضخمات الليف المشوبة بالإربيوم (erbium) على اعتماد طريقة الدمج باقتسام الأطوال الموجية[1] (wavelength-division multiplexing) المعروفة اختصاراً بـ WDM. تضمُّ هذه التجهيزات طولاً محدوداً من ليف خاص يحوي آثاراً من عنصر ترابي نادر، يضخّه ليزر مجاور فيضخم أيّ ضوء مار فيه ضمن مجال من الأطوال الموجية. وأهمّ من ذلك، أنّ هذا التضخيم يحصل دون تحويل الضوء إلى إشارة كهربائية ثمّ إعادتها ثانيةً إلى شكل ضوئي، بل ودون فصل الألوان المختلفة. وهكذا تستطيع الإشارة الانتقال آلاف الكيلومترات بصورة ضوء.

لقد حوّل انتشار استعمال WDM في التسعينيّات مفهوم الاتصال الضوئي من استعمال حزمة وحيدة معدّلة إلى استعمال طيف كامل مشابه لما هو مألوف في موجات الراديو. يوافق النطاقُ C للإربيوم الذي يبدو ضيقاً ويُستعمل في معظم المضخمات عرضَ نطاق قدره 10 THz تقريباً، وهو يكفي نظرياً لنقل ما يعادل 20 ترليون بِتة في الثانية من معطيات تشغيل/إطفاء. ولقد بُنِيت نظم تقدم العشرات من قنوات الأطوال الموجية لتستغلّ هذه المعدلات غير المسبوقة.

لسوء الحظ، كان الدافع وراء النمو السريع في تركيب الألياف تنبؤات غير اعتيادية تبيّن أنها غير واقعية مما أدى إلى فائض في سعات الألياف. مع ذلك، استمر تدفق المعطيات بالتضاعف كل سنتين أو أقل، ولم تمضِ إلا سنوات قليلة حتى أصبحت زيادة السعات مطلوبة مرة أخرى في الأجزاء المزدحمة الحركة من الشبكة.

ولتوفير هذه السعة، اعتمدت الشركات في الأسواق بحلول العام 2010 رؤيةً بحثيةً طويلة المدى "للاتصالات المترابطة (coherent)". فبدلاً من تمثيل البِت بوجود الضوء أو غيابه، تُرمَّز المعطيات في هذه التقنية–المستعملة استعمالاً واسعاً في طيف الراديو–وفق طور الموجة الضوئية وسعتها. وعلى الرغم من محدودية عدد الرموز في الثانية بعرض النطاق المتوفر، فإنّ الاتصالات المترابطة سمحت بأن يمثّل كل رمز بتات متعددة من المعلومة، وهكذا ازدادت سرعة البِتات الكلية. تنقل الأنظمة النموذجية الآن 100 Gb/s لكل طول موجة أو 8 Tb/s عبر قنوات WDM في ليف واحد.

حد شانون اللاخطي (Nonlinear Shannon Limit)

إنّ عدد البِتات التي يمكن حَشْدها في رمز واحد محدود نظرياً (وفق نظرية المعلومات المنسوبة إلى كلود شانون في مخابر بِل في عام 1948) باللوغاريتم ذي الأساس 2 لنسبة الإشارة إلى الضجيج. قد يزيد رفع القدرة من معدل البِتات، ولكن زيادتها تكون تدريجية.

يشار إلى أنّ زيادة القدرة الضوئية يزيد كهرعازلية الليف الضوئي، وهذا الأمر يؤثر في انتشار الإشارة الضوئية. يقول رينيه جان إسيامبر (René-Jean Essiambre) من مخابر بِل في كراوفورد هيل (Crawford Hill) في ولاية نيوجرسي، التي استحوذت عليها نوكيا حديثاً وسميت مخابر نوكيا بِل: "يرافق زيادة القدرة حدوث تشوهات إضافية لا يمكن تعويض بعضها. وهي تظهر بصورة ضجيج"، يلغي في نهاية المطاف أياً من ميزات زيادة القدرة.

لما كانت التأثيرات غير الخطية التي تسببها المعطيات على قناة طول موجة وحيد تؤثر في كل قنوات الليف الأخرى، فإنّ المحصلة تضع حداً للعدد الكلي للبِتات في الثانية في كل القنوات مجتمعة. لقد حَسَبَ إسيامبر وزملاؤه هذا الحد لتشكيلات شبكية معينة واستنتجوا أن الأنظمة الحديثة المترابطة قريبة منه كثيراً. ويقول إسيامبر "إنّ القيود على معدل البِتات صارم، خصوصاً في حالة المسافات الطويلة جداً. ثمّ إنّ الانخفاض الواقعي في لاخطية الليف يسبب تحسناً محدوداً في معدل البتات. إنّ زيادة هذا المعدل أمر صعب جداً بسبب لوغاريتمه."

[1] وتعني استعمالَ أضواء بأطوال موجية مختلفة لإرسال معطيات في ليف واحد، كل منها على ضوء ذي طول موجي مختلف. (المترجم)

يقول دافيد ريتشاردسون نائب مدير مركز أبحاث الإلكترونيات الضوئية في جامعة ساوثمبتون في المملكة المتحدة "لقد حاول الباحثون صنع اللب من سيليكا نقية أو نشر الضوء على مساحة مقطعية أوسع بهدف تخفيض لاخطية الألياف التقليدية. لقد أحرزوا تقدماً ملحوظاً، إلاّ أنّ ذلك لم يؤد إلى تخفيض في اللاخطية من رتبة 10 مرات"

من جهة أخرى، ظهر تخفيض في اللاخطية ألف مرة باستعمال ليف يحجز الضوء في لب فارغ ضمن غمد من مادة ذات فجوة نطاق فوتوني دوري. إلا أنه لسوء الحظ، بسبب اللوغاريتم وتأثيرات أخرى، يقول رتشاردسون: "لا تكون الفوائد خطية، فمن الممكن أن تحصل على تحسن في الأداء ثلاث مرات." زيادة على ذلك، أظهرت الألياف حتى الآن ضياعاً في الإشارة عشر مرات أعلى من الألياف التقليدية، وهكذا فإنّ مستقبل الألياف ذات فجوة النطاق الفوتوني غامض ومكفهر على المدى البعيد.

الدمج باقتسام الفضاء (space division multiplexing)

إنّ الدمج باقتسام الفضاء المعروف اختصاراً بـ SDM قد يكون بمنزلة مقاربة أقل جذرية، وقد تشمل وضع عدة ألباب في غمد واحد أو استعمال ليف واحد يدعم عدة أنماط فراغية بدلاً من نمط وحيد. إنّ الألياف العديدة الألباب على سبيل المثال لا تثير جدلاً على وجه الخصوص وفق ريتشاردسون، بل إن معظم الناس يقبلون أن تدار الألياف بشكل مستقل. فحتى لو امتزجت الأنماط الفراغية أثناء انتقالها، فإن معالجة الإشارة الرقمية المستعملة في الأنظمة المترابطة كفيل بالفصل فيما بينها تماماً كما تفعل ذلك في حالة أنماط الاستقطاب وفي التطبيق الحالي لأنظمة هوائي الراديو المتعددة.

إنّ السؤال الحاسم والمفتوح حتى الآن هو: هل ستصبح الأنظمة أرخص باستعمال SDM مقارنة بالألياف المتعددة المنفصلة؟ لقد أثبت الباحثون إحراز تضخيم متزامن لأنماط فراغية مختلفة عن طريق تضمين ربح ضوئي في الغمد الذي يتشاركونه جميعاً. يقول ريتشاردسون: "هنا تستطيع التقانة أن تعطي ميزات" كما فعلت مضخمات الإربيوم للـ WDM.

تقوم حالياً إحدى الشركات بمناصرة نهج المكونات المدمجة وهي شركة إينفينيرا (.Infinera Corp)، إلا أنّ مدير الحلول والتقانة فيها جيف بينيت (Geoff Bennett) لا يزال مشككاً فيما يخصّ الـ SDM: "أنا لن أقول هذا مستحيل، لكن هذا لن يحدث في الأفق المرئي." وتكمن المشكلة في أن الـ SDM تحتاج أليافاً مختلفة وهذه مشكلة كبرى. يقول بينيت: "إنّ تطوير ألياف جديدة هو حرفياً آخر ملاذ يفكّر فيه أي مشغل". مع ملاحظة أن الكبل البحري الذي رُكّب أخيراً استعمل أليافاً واسعة المساحة ذلك لأن لاخطيتها المنخفضة مفيدة في الروابط الطويلة على وجه الخصوص.

قد تتطلب أنظمة الـ SDM أدوات وصل وربط وجدل مختلفة وبنى أساسية أخرى. يقول بينيت: "لن تفيد الأنظمة البيئية التي جرى تطويرها خلال الـ 20 سنة الماضية الـ SDM." مع أن بعض الروابط قد استُعملت بكثرة، إلا أنه منذ بداية القرن العشرين "لا يزال هناك بوجه عام الكثير من الألياف غير مضاءة". يعترف بينيت أن إضاءة ليف إضافي من كبل يحوي عشرات منه يتطلب سلسلة من المضخمات كل 80 km تقريباً، "إنّ تكلفة ذلك ليست عالية كما أنها لا تصاب بالعطب أبداً."

التقانة السهلة المنال (Lower-Hanging Fruit)

يقول بينيت لقد وسّعت التقانة المترابطة معدل البتات الخام للألياف الموجودة، لكن لا تزال هناك فرص لتحسين أبعاد التشغيل والتكلفة في أداء الشبكة. فقد أُدخلت المعالجة الرقمية بدايةً عند المستقبلات، لتوفر التعامل مع معدل بتات أعلى

إضافة إلى التعويض عن تشوهات الإشارة. كما جرت المعالجة عند المرسلات أيضاً فيما يسميه بينيت: "العصر المترابط الثاني (second coherent era). وهذا ما يمنحنا عدداً من الخيارات".

يكمن أحد هذه الخيارات في بناء "قنوات خارقة (superchannels)"، حيث يمكن حشر عدة أطوال موجية لتتقارب في التواتر دون حدوث تداخل وذلك تشكيل النبضات. يقول بينيت: "إنّ فتح فضاء التواترات بين القنوات المتجاورة يسمح لنا بتمرير معدلات بتات أكبر بكثير ضمن الليف." فهو ينقلنا في الحالة النموذجية من 8Tb/s إلى 12Tb/s.

يضع شون لونغ (Sean Long)، مدير إدارة المنتج (Product Management) في شركة هواوي (Huawei) علامة استفهام أمام مستقبل الـ SDM، مع أن مجموعة صغيرة من شركته تهتم بالـ SDM. ويقول لونغ: "نظرياً، هذا هو الاتجاه الذي علينا أن نسلكه على الرغم من وجود الكثير من الأشياء التي ينبغي تطويرها، إذ لا يزال الأمر معقداً جداً."

يضيف أيضاً: "ما يزال علينا القيام ببعض الأشياء قبل ذلك، فمن المحتمل إقحام مضخمات الإربيوم في مناطق الطيف غير المستعملة المعروفة باسم النطاق L. ونركز حالياً أكثر على الكفاءة الطيفية" عن طريق معالجة الإشارة الرقمية من طرف الإرسال. "فهناك مرونة قائمة أصلاً، وعلينا الآن معرفة كيف نصنع المزيج الأفضل لتطبيقات معينة".

أزمة الطاقة (Energy Crisis)

مع أن الصناعة تعالج حدود معدل البِتات، فإنّ تحديات أخرى تأتي على الطريق، وقد كانت هذه التحديات موضوع اجتماع أيار 2015 حول "شبكات التواصل خارج نطاق أزمة معدل البِتات". لقد حلّل مساعد المنسق أندرو إيليس (Andrew Ellis) من جامعة أستون في بيرمينغهام، بالمملكة المتحدة، تأثيرات حد شانون اللاخطية، ويقول: "من المؤسف أنّ هناك مشكلات أخرى مماثلة في بقية الشبكة كبروتوكولات البرمجيات."

يقول إيليس: "إذا تطلبت لاخطيات الليف استعمالَ الألياف المضاعفة ومكونات أخرى، فمن الصعب رؤية كم سيدعم التخفيض التاريخي في تكلفة الطاقة لكل بِتة والذي قاد إلى توسع الشبكات. ففي كل مرة نُدخل فيها جيلاً جديداً، يرافقه تحسّن أربع مرات في الأداء وارتفاع في تكلفة الطاقة مرتين فقط.

يُتوقع أن تنافِس الطاقةُ الكلّيّة المستعملة في شبكات الاتصالات كلَّ استعمالات الطاقة الأخرى خلال عقدين أو ثلاثة حتى إذا استمر تخفيض كلفة الطاقة". ويعقِّب إيليس قائلاً: "سنستعمل كميات متزايدة من الطاقة إذا ما استمر الطلب على الاتصالات في الازدياد."

قراءات للاستزادة

Hecht, J. Great Leaps of Light, *IEEE Spectrum*, February 2016, p. 28.

Ellis, A.D., Suibhne, N. M., D. Saad, D., and Payne, D.N. Communication networks beyond the capacity crunch, *Philosophical Transactions of The Royal Society A* 2016 374 20150191; DOI: 10.1098/rsta.2015.0191. Published 25 January 2016, http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/374/2062/20150191

Richardson, D.J. New optical fibres for high-capacity optical communications, *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, 2016 374 20140441; DOI: 10.1098/rsta.2014.0441. Published 25 January 2016, http://rsta.royalsocietypublishing.org /content/374/2062/20140441

Andrew Ellis Boosting Bandwidth, *Physics World*, April 2016, p. 17, http://www.unloc.net/images/news/AndrewEllis_PhysicsWorld_finalarticle.pdf