

# الثقافة والمعلوماتية

## مجلة دورية تصدرها الجمعية العالمية السورية للمعلوماتية

السنة الثانية والعشرون - العدد السادس والخمسون - أيلول "سبتمبر" / كانون الأول "ديسمبر" 2018

ملف العدد: من تحديات المعطيات الكبيرة

أباتشي سبارك: محرك موحد لمعالجة المعطيات الكبيرة

نظم التوصية- ما بعد إتمام المصفوفة

مستقبل إنترنت الأشياء

الأبحاث الأخرى

لم يعد تمثيل المعرفة مهماً؟

تعلّم كيف تتعلم

استشرافاً للسياسات والآثار الاجتماعية لتشبك المعطيات المسماة

ملفات الأعداد

قائمة المصطلحات



# الثقافة والمعلوماتية

## مجلة دورية تصدرها الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية

السنة الثانية والعشرون - العدد السادس والخمسون - أيلول "سبتمبر" / كانون الأول "ديسمبر" 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

أمانة التحرير:

هيفاء باكير

---

---

**للمراسلات:**

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

بريد إلكتروني: [nzhafez@scs-net.org](mailto:nzhafez@scs-net.org)

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

---

## عزيري القارئ،

اخترنا لهذا العدد ثلاثة بحوث تحت العنوان من تحديات المعطيات الكبيرة، هي: "أباتشي سبارك: محرك موحد لمعالجة المعطيات الكبيرة"، "نظم التوصية- ما بعد إتمام المصفوفة"، "مستقبل إنترنت الأشياء".

يستعرض البحث الأول (أباتشي سبارك: محرك موحد لمعالجة المعطيات الكبيرة) نموذج برمجة سبارك، المعتمد على مجموعات المعطيات الموزعة المرنة، ويشرح سبب كونه عالي العمومية. ويناقش أيضاً كيفية الاستفادة من هذه العمومية لبناء مهام معالجة أخرى عليها. أخيراً، يلخص أكثر تطبيقات سبارك شيوعاً، ويصف أعمال التطوير الجارية في مشروع سبارك.

يتناول البحث الثاني (نظم التوصية- ما بعد إتمام المصفوفة) مسائل متعلقة بنظم التوصية: تاريخها، صياغتها على أنها مسألة إتمام مصفوفة، بيان أسباب عدم كفاية تلك الصياغة لتقديم أفضل التوصيات، منهجيات تعتمد الأبحاث الحالية لتحسين أداء نظم التوصية، طرق لجعل مهمة التوصية أكثر شمولاً في المستقبل. يناقش البحث الثالث (مستقبل إنترنت الأشياء) المخاطر المرافقة لإنترنت الأشياء، القديمة منها والجديدة، النابعة من عدة عوامل، مثل مخاطر الأمن والخصوصية، وآثارها الجدية مثلاً على حياة البشر وسلامتهم. ويسلط الضوء على الإجراءات التي يمكن أن تأتي بالمنافع التي نتصورها لإنترنت الأشياء.

واخترنا أيضاً لهذا العدد ثلاثة بحوث متنوعة المواضيع مثيرة للاهتمام هي على الترتيب: "لِمَ يُعَدُّ تمثيل المعرفة تمثيلاً مهمّاً؟"، "تعلّم كيف تتعلم"، "استشرافاً للسياسات والآثار الاجتماعية لتشبك المعطيات المسماة".

يُدرس أول هذه البحوث (لِمَ يُعَدُّ تمثيل المعرفة تمثيلاً منطقيّاً مع التركيز على الأسس الدلالية. ويوضح هذه المسألة باستعراض قصة شركة ابتكرت منهجية مستندة إلى خوارزميات التعلّم الآلي وبيئة مساعدة على تصحيح الأخطاء ونموذج معطيات المقاصد الذكية.

يفصّل ثانيها (تعلّم كيف تتعلم) مسألة "تعلّم التعلّم"، مهمداً بما يحدث لنا عند تعلم أشياء جديدة، وما يسميه المعلمون لوصف المهارات المفقودة في سبيل تلك الغاية، ليناقد مهارة التنقل بين الأمزجة لتعرّف المزاج الذي يحجب التعلّم، والتحوّل عنه إلى مزاج يعزّز التعلّم.

أخيراً، يكشف ثالثها (استشرافاً للسياسات والآثار الاجتماعية لتشبك المعطيات المسماة) النقاب عن بنیان مستقبلي لإنترنت مقترح لتغيير طريقة إيصال المعطيات على الإنترنت، يسمى تشبك المعطيات المسماة. يتناول البحث دراسة تحليلية للتحديات التي ينطوي عليها هذا التشبك على المستوى الاجتماعي ومستوى خطط العمل، في مسعى للتبصير بالتبعات المحتملة للتشبك المتمركز حول المعلومات.

---

يتضمن هذا العدد أيضًا قائمة بملفات الأعداد منذ صدور المجلة حتى هذا العدد.

وأدرجنا في نهاية المجلة، كالعادة، قائمةً بأهم المصطلحات (إنكليزي - عربي) الواردة في مقالات هذا العدد، وأضفنا إليها -كما وعدناك عزيزي القارئ- مصطلحات العدد الذي سبقه.

أخي القارئ،

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

وإلى اللقاء معك في العدد القادم.

رئيس التحرير

الدكتور موفق دعبول

---

---

# المحتويات

## ملف العدد: من تحديات المعطيات الكبيرة

- 9 ..... أباتشي سبارك: محرك موحد لمعالجة المعطيات الكبيرة
- 29 ..... نُظْم التوصية- ما بعد إتمام المصفوفة
- 45 ..... مستقبل إنترنت الأشياء

## الأبحاث الأخرى

- 53 ..... لِمَ يُعَدُّ تمثيلُ المعرفةِ مهمًّا؟
- 59 ..... تَعَلَّم كيف تتعلم
- 67 ..... استشرافاً للسياسات والآثار الاجتماعية لتشبيك المعطيات المسماة

## ملفات الأعداد

## قائمة المصطلحات

# أباتشي سبارك: محرك موحد لمعالجة المعطيات الكبيرة

## APACHE SPARK: A UNIFIED ENGINE FOR BIG DATA\*

Matei Zaharia, Reynold S. Xin, Patrick Wendell, Tathagata Das, Michael Armbrust, Ankur Dave, Xiangrui Meng, Josh Rosen, Shivaram Venkataraman, Michael J. Franklin, Ali Ghodsi, Joseph Gonzalez, Scott Shenker, And Ion Stoica

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

يعمل إطار الحوسبة المفتوح المصدر هذا على توحيد أحمال المعطيات الكبيرة الأفقية والدفعية والتفاعلية لفتح مغاليق تطبيقات جديدة.

يولّد تنامي حجوم المعطيات في الصناعة والبحوث فرصًا هائلة، إضافةً إلى تحدياتٍ حسابيةٍ هائلة. ونظرًا إلى أن أحجام المعطيات فاقت قدرات الآلات المنفردة، احتاج المستعملون إلى نظم جديدة لتوسيع نطاق الحسابات إلى عُقد متعددة. ونتيجة لذلك، حدث انفجار في نماذج البرمجة العنقودية الجديدة استهدف أحمالًا متنوعة للحوسبة [1, 4, 7, 10]. في البداية، كانت

هذه النماذج متخصصة نسبيًا، ومرافقة مع تطوير

نماذج جديدة لأحمال جديدة؛ فعلى سبيل المثال، دعم

MapReduce [4] المعالجة الدفعية، على حين طُوّر

Google أيضًا [13] Dremel لاستعلامات SQL

التفاعلية و [11] Pregel للخوارزميات التكرارية

الخاصة بالبيان (graph). وفي نظام Apache

Hadoop المفتوح المصدر، تُعدّ نظم مثل Storm

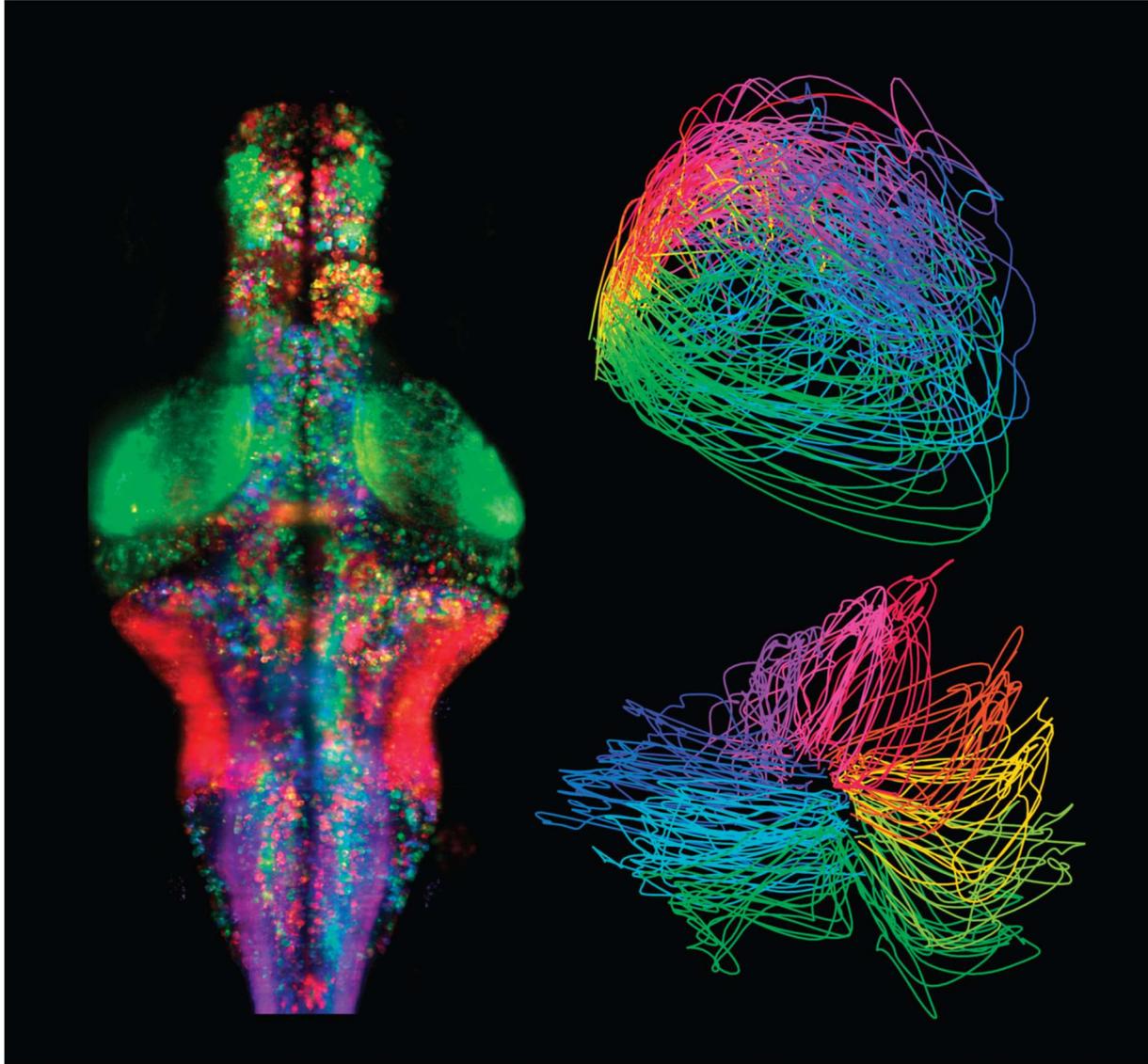
[1] و [9] Impala متخصصة أيضًا. وحتى في عالم

قواعد المعطيات العلائقية، كان التوجه نحو الابتعاد

### أفكار رئيسية

- يمكن نموذجًا برمجيًا بسيطًا مسكًا أحمالٍ دقيقةٍ ودفعيةٍ وتفاعلية، وإتاحة التطبيقات الجديدة التي تجمع تلك الأحمال.
- تتنوع تطبيقات أباتشي سبارك من المالية إلى معالجة المعطيات العلمية، ودمج المكتبات المتعلقة بـ SQL والتعلم الآلي والبيانات (graphs).
- في غضون ست سنوات، نما أباتشي سبارك ليشمل 1000 مساهم والآلاف من عمليات النشر.

\*نُشر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 11، تشرين الثاني (نوفمبر) 2016، الصفحات 56 – 65.



تحليلات أُجريت باستعمال سبارك لنشاط الدماغ في السمك المخطط اليرقي: (إلى اليسار) تحليل مصفوفة إلى عوامل

لتمييز المناطق المتماثلة وظيفياً (كما هو مبين بألوان مختلفة) و (إلى اليمين) تضمين حراك (ديناميك) نشاط

الدماغ الكامل في مسارات ذات أبعاد أقل. (المصدر: Jeremy Freeman and Misha Ahrens,

Janelia Research Campus, Howard Hughes Medical Institute, Ashburn, VA

عن نُظْمٍ "مقاس واحد يناسب الجميع" ("one-size-fits-all") [18]. لكن ويا للأسف، تحتاج معظم تطبيقات المعطيات الكبيرة إلى الجمع بين العديد من أنواع المعالجة المختلفة. إن طبيعة "المعطيات الضخمة" هي أنها متنوعة وفوضوية (غير مرتبة)؛ وسوف يحتاج الأنبوب النمذجي (pipeline) إلى رمازٍ شبيهٍ بـ MapReduce لتحميل المعطيات، واستعلاماتٍ تشبه SQL، وتعلّمٍ آلي تكراري. وعليه، يمكن أن تتسبب المحركات المتخصصة في حصول تعقيدٍ وعدم كفاءة؛ ومن ثمّ يقع على

عائق المستعملين تجميع نُظْمٍ متغايرة، أضف إلى ذلك أن بعض التطبيقات لا يمكن التعبير عنها ببساطة في أي محرك بكفاءة.

في عام 2009، بدأت مجموعتنا في جامعة كاليفورنيا، بيركلي، مشروع أباتشي سبارك لتصميم محرك موحد لمعالجة المعطيات الموزعة. ولدى سبارك نموذج برمجيّ مشابه لـ MapReduce، غير أنه موسّع بتجريد التشارك في المعطيات المسمّى "مجموعات المعطيات الموزعة المرنة" ("Resilient Distributed Datasets")، أو RDDs [25]. وباستعمال هذا التوسّع البسيط، يستطيع سبارك مسك مجموعة واسعة من أحمال المعالجة التي كانت تحتاج في السابق إلى محركات منفصلة، ومنها SQL، والدفق، والتعلم الآلي، ومعالجة البيان [2, 26, 6] (انظر الشكل 1). تستعمل هذه التجيزات التحسينات نفسها التي تلجأ إليها المحركات المتخصصة (مثل المعالجة العمودية التوجّه، والتحديثات المتزايدة) وتُحقق أداءً مشابهًا، لكنها تُشغّل على أنها مكتبات على محرك مشترك، وهذا ما يجعلها سهلة وفعالة في التركيب. وبدلاً من أن نكون مقيدين بهذه الأحمال، فإننا ندّعي أن هذه النتيجة هي أكثر عمومية؛ فعند إضافة التشارك في المعطيات إليها، يمكن لـ MapReduce أن يضاها أيّ حساب موزّع، لذلك ينبغي أيضاً أن يكون بالإمكان تشغيل العديد من أنواع الأحمال الأخرى [24].

تتميز عمومية سبارك بالعديد من الفوائد المهمة. أولاً، أصبح تطوير التطبيقات أكثر سهولة، وذلك لأنها تستعمل واجهة برمجية للتطبيقات (API) موحّدة. ثانياً، صار الجمع بين مهام المعالجة أكثر كفاءة؛ ففي حين تتطلب النظم السابقة كتابة المعطيات في وسط خزنٍ لتمريرها إلى محرك آخر، يستطيع سبارك تشغيل وظائف متنوعة على المعطيات نفسها، موجودة في الذاكرة غالباً. أخيراً، أتاح سبارك تطبيقات جديدة (مثل الاستعلامات التفاعلية على البيان، والتعلم الآلي الدفقي) لم تكن ممكنة في النظم السابقة. هذا وإن أحد التشبيهات القوية لقيمة التوحيد أن نقارن الهواتف الذكية بالتجهيزات المحمولة



الشكل 1. كدسة برامج أباتشي سبارك، وتتضمن مكتبات معالجة متخصصة منجزة على المحرك الأساسي.

المنفصلة التي كانت موجودة قبلها (مثل الكمرات والهواتف الخلوية وأدوات GPS)؛ فبتوحيد وظائف هذه التجهيزات، أتاحت الهواتف الذكية تطبيقات جديدة تجمع وظائفها (مثل التراسل الفيديوي و ويز<sup>1</sup>) التي لم تكن ممكنة على أي من التجهيزات. نما مشروع سبارك، منذ إنطلاقه في عام 2010، ليصبح المشروع المفتوح المصدر أو مشروع معالجة المعطيات الكبيرة الأشد فاعلية، بإشراك أكثر من 1000 مساهم. ويُستعمل هذا المشروع في أكثر من 1000 مؤسسة، بدءاً من شركات التقانة (التكنولوجيا)، والمصارف وتجارة التجزئة والتقانة الحيوية، وانتهاءً بعلم الفلك. وقد شملت أوسع عملية نشر لسبارك معلنة جهازاً أكثر من 8000 عقدة [22]. ومع نمو سبارك، سعينا لمواصلة البناء على قوته التي تتمثل في كونه محركاً موحدًا، وواصلنا (مع آخرين) بناء مكتبة معيارية متكاملة فوق سبارك، تتضمن وظائف عديدة بدءاً من استيراد المعطيات وانتهاءً بالتعلم الآلي. وسيكتشف المستعملون قوة هذه المقرة؛ ففي الدراسات المسحية (surveys)، نجد أن غالبية المستعملين يجمعون عدة مكتبات من سبارك في تطبيقاتهم.

عندما تصبح معالجة المعطيات المتوازية شائعة، ستكون قابلية تجميع وظائف المعالجة واحدة من أهم الشواغل المتعلقة بكل من سهولة الاستعمال والأداء. وإن الكثير من تحليل المعطيات ذو طبيعة استكشافية، إذ يرغب المستعملون في جمع وظائف المكتبة بسرعة في أنابيب عمل. لكن، في حالة "المعطيات الضخمة" على وجه الخصوص، يُعد نسخ المعطيات بين النظم المختلفة أمراً ذا آثار سلبية في الأداء. ولذلك يحتاج المستعملون إلى تجريدات عامة وقابلة للتجميع. سنقدم في هذا المقال .

## نموذج البرمجة

إن التجريد البرمجي الرئيسي في سبارك هو RDDs (مجموعات المعطيات الموزعة المرنة)، وهي مجموعات متحولة للخلل (fault-tolerant) من الأغراض المجزأة على عنقود التي يمكن تداولها على التوازي. ينشئ المستعملون مجموعات RDDs بتطبيق عمليات يُطلق عليها "تحويلات" (مثل map و filter و groupBy) على معطياتهم. يعرض سبارك المجموعات RDDs بواسطة واجهة API (واجهة برمجية للتطبيقات) وظيفية في لغات Scala و Java و Python و R، حيث يمكن المستعملين أن يمرّوا ببساطة وظائف محلية للتنفيذ على العنقود. فمثلاً، يولد رمائز Scala الآتي مجموعة RDD تمثل رسائل الخطأ في ملف سجل، وذلك بالبحث عن الأسطر التي تبدأ بكلمة ERROR، ثم طباعة العدد الإجمالي للأخطاء:

```
lines = spark.textFile("hdfs://...")
errors = lines.filter(s => s.startsWith("ERROR"))
println("Total errors: "+errors.count())
```

يحدّد السطر الأول مجموعة RDD مدعومة بملف في نظام الملفات الموزع الخاص بـ Hadoop Hadoop (Distributed File System (HDFS)) على هيئة مجموعة من سطور نصية. ويستدعي السطر الثاني التحويل filter (مرشح) لاشتقاق مجموعة RDD جديدة من السطور (lines). أما وسيط الاستدعاء، فهو حرف دالة أو غلاقة<sup>2</sup> Scala.

<sup>1</sup> Waze: من وسائل الإعلام الاجتماعية المعتمدة على الموقع (https://www.waze.com). (المترجم)

<sup>2</sup> يمكن الغلاقات (closures) التي تمرر إلى سبارك أن تستدعي أي مكتبة Scala أو Python موجودة أو حتى متغيرات مراجع في البرنامج الخارجي. يقوم سبارك بإرسال نسخ للقراءة فقط من هذه المتغيرات إلى العقد العاملة.

أخيرًا، يستدعي السطر الأخير العملية count، وهي نوع آخر من العمليات على RDD يسمى "إجراء" يعيد نتيجةً إلى البرنامج (وهي هنا عدد العناصر في RDD) بدلًا من تعريف مجموعة RDD جديدة.

يقيم سبارك مجموعات RDDs بتأنٍ، ليسمح بالعثور على خطة فعّالة لحسابات المستعمل. وعلى وجه الخصوص، تعيد التحويلات غرض RDD جديدًا يمثل نتيجة حساب ما، ولكنها لا تقوم بحسابه على الفور. وعندما يُستدعى إجراء ما، يعتمد سبارك على البيان الكامل للتحويلات المستعملة لإنشاء خطة التنفيذ. فمثلًا، إذا وُجدت عدة عمليات filter أو map في سطر، فيمكن سبارك أن يدمجها في مسار واحد، أو إذا عَلِمَ أن المعطيات مجزأة، فيمكنه تجنب تحريكها في الشبكة إذا وجد GroupBy [5]. ومن ثمّ يستطيع المستعملون بناء البرامج بناءً اجترائياً دون فقدان الأداء.

أخيرًا، توفّر مجموعات RDDs دعمًا صريحًا للمشاركة في المعطيات بين الحسابات؛ فمجموعات RDDs "سريعة الزوال" بالافتغال (by default)، لأنه يعاد حسابها في كل مرة تُستعمل في إجراء (مثل count). لكن، يمكن المستعملين أيضًا الإبقاء على مجموعات RDDs المختارة في الذاكرة لإعادة الاستعمال السريع. (إذا لم تتسع المعطيات في الذاكرة، يقوم سبارك أيضًا بنقلها إلى القرص). فعلى سبيل المثال، إذا كان المستعمل يبحث في مجموعة ضخمة من ملفات السجل الموجودة في نظام ملفات HDFS لتصحيح مشكلة ما، فقد يلجأ إلى تحميل رسائل الخطأ فقط في الذاكرة عن طريق العنقود، وذلك باستدعاء:

```
errors.persist()
```

بعد ذلك، يستطيع المستعمل تنفيذ مجموعة متنوعة من الاستعلامات على المعطيات التي في الذاكرة:

// عُدّ الأخطاء التي تُذكر MySQL

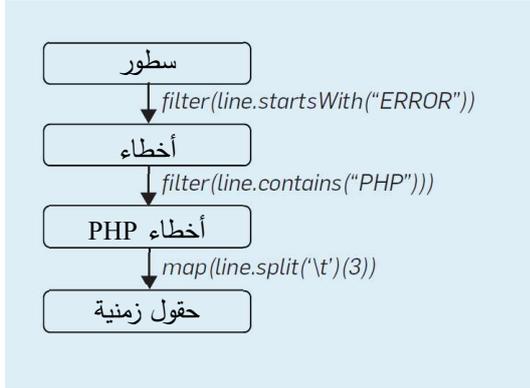
```
errors.filter(s => s.contains("MySQL")).count()
```

// أحضر حقول الزمن الخاصة بالأخطاء التي تُذكر PHP بافتراض أن الزمن هو الحقل #3

```
errors.filter(s => s.contains("PHP")).map(line=>line.split('\t')(3)).collect()
```

يمثّل هذا التشارك في المعطيات الفرق الرئيسي بين سبارك ونماذج الحوسبة السابقة، مثل MapReduce؛ أما العمليات المنفردة (مثل map و groupBy) فهي مماثلة. وكذلك فإن التشارك في المعطيات يوفر سرعات كبيرة - غالبًا ما تصل إلى 100 ضعف - للاستعلامات التفاعلية والخوارزميات التكرارية [23]، وهو أيضًا المفتاح لعمومية سبارك، كما سنناقش لاحقًا.

**تحمل الخلل.** ويقطع النظر عن توفير التشارك في المعطيات وعمليات متوازية متنوعة، فإن مجموعات RDDs تتعافى تلقائيًا من حالات الإخفاق. ولقد قَدِّمَتْ نُظْمُ الحوسبة الموزعة تقليديًا تحمّل الخلل (fault tolerance) بتكرار المعطيات أو بإدراج نقاط التدقيق (checkpointing). أما سبارك فإنه يستعمل منهجًا مختلفًا يسمى "النسب lineage" [25]، وفيه تقوم كل مجموعة من مجموعات RDD بتعقب بيان التحويلات الذي استعمل في بنائها وإعادة تنفيذ هذه العمليات على معطيات القاعدة لإعادة بناء أي أجزاء مفقودة. يبين الشكل 2 مثلًا مجموعات RDDs المشار إليها في استعلامنا السابق، حيث نحصل على الحقول الزمنية للأخطاء التي تُذكر PHP بتطبيق مرشّحين (filters) وتقابل (map). ففي حال فقد أي جزء من RDD (على سبيل المثال، إذا أخفقت عقدة تحوي جزءًا من errors موجودًا في الذاكرة)، يقوم سبارك بإعادة بنائه



الشكل 2. رسم بياني للنسب للاستعلام الثالث في مثالنا؛ المربعات تمثل RDDs، والأسهم تمثل التحويلات.

بتطبيق مرشح على الكتلة المقابلة له من ملف نظام HDFS. وفي حالة عمليات "shuffle" التي ترسل المعطيات من جميع العقد إلى جميع العقد الأخرى (مثل reduceByKey)، يحتفظ المرسل بالمعطيات الخرج محلياً تحسباً لإخفاق أحد المستقبلين.

في الأحوال الكثيفة المعطيات، تُعد الاستعادة المعتمدة على النسب (lineage-based recovery) أعلى كفايةً (فعاليةً) بكثيرٍ من النسخ. فهي تختصر كلاً من الوقت - لأن كتابة المعطيات عن طريق الشبكة أبطأ بكثيرٍ من كتابتها في ذاكرة الرام - ومساحة التخزين في الذاكرة. وتكون الاستعادة نموذجياً أسرع بكثيرٍ من مجرد إعادة تنفيذ البرنامج، لأن العقدة التي أخفقت تحوي عادةً أجزاءً متعددةً من RDD، ويمكن إعادة بناء تلك الأجزاء على التوازي على العقد الأخرى.

**مثال أطول.** لنأمل مثلاً أطول. يبيّن الشكل 3 تنجيز الانحسار اللوجستي (logistic regression) في سبارك. تُستعمل في هذا التنجيز خوارزمية هبوط تدرجي دُفعي (batch gradient descent)، وهي خوارزمية تكرارية بسيطة تقوم بحساب دالة تدرج على المعطيات بطريقة تكرارية لعملية جمع (sum) متوازية. يسهل سبارك تحميل المعطيات في الرام (RAM) مرةً واحدةً وتنفيذ عدة عمليات جمع. ونتيجة لذلك، فإنه يعمل أسرع من MapReduce التقليدي. ففي حالة عملٍ من مرتبة 100 غيغابايت مثلاً (انظر الشكل 4)، يستغرق MapReduce 110 ثوانٍ لكل تكرارة، لأن المعطيات تُحمّل من القرص في كل تكرارة، في حين يستغرق سبارك ثانيةً واحدة فقط لكل تكرارة بعد التحميل الأول.

**التكامل مع نظم التخزين.** جرى تصميم سبارك - مثله في ذلك مثل نظام MapReduce من Google - لاستعماله مع نظم خارجية متعددة للتخزين الدائم. وأكثر ما يُستعمل سبارك عادةً مع نظم ملفات نظام العنقود، مثل HDFS ومخازن المفاتيح-القيم (key-value) مثل S3 و Cassandra. ويمكن ربطه أيضاً بفهرس المعطيات Apache Hive. تُخزّن

```

// حمل المعطيات في مجموعة RDD
val points = sc.textFile(...).map(readPoint).persist()

// ابدأ بمتجه من وسطاء عشوائية
var w = DenseVector.random(D)

// في كل تكرارة: حدّث متجه الوسطاء بناتج عملية الجمع
for (i <- 1 to ITERATIONS) {
  val gradient = points.map { p =>
    p.x * (1/(1+exp(-p.y*(w.dot(p.x))))-1) * p.y
  }.reduce((a, b) => a+b)
  w -= gradient
}
  
```

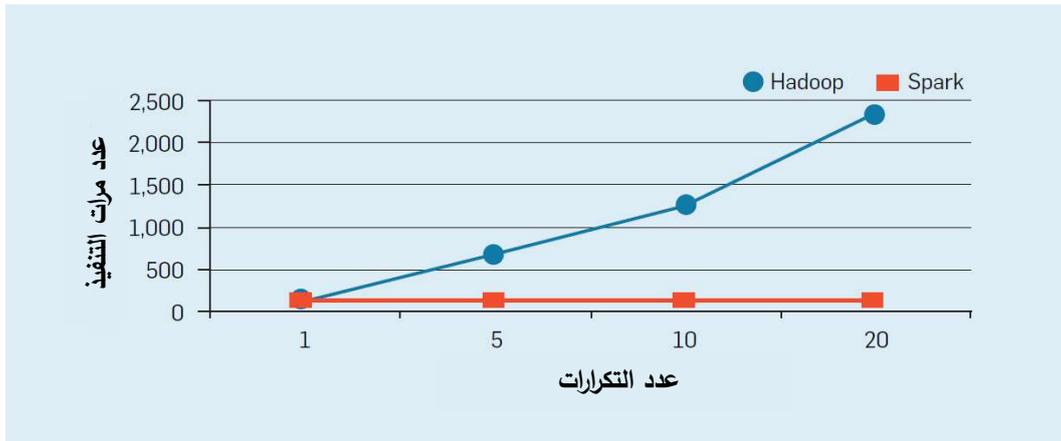
الشكل 3. تنجيز Scala للانحسار اللوجستي بخوارزمية هبوط تدرجي دُفعي في سبارك.

مجموعات RDDs عادةً معطيات مؤقتة فقط داخل تطبيق ما، لكن بعض التطبيقات (مثل مخدم Spark SQL JDBC) تجعل RDDs أيضًا مشتركة بين عدد من المستعملين [2]. هذا وإن كون تصميم سبارك محركًا لنظام تخزين حيادي يجعل من السهل على المستعملين تنفيذ الحسابات على معطيات موجودة وضمّ مصادر معطيات متنوعة.

## مكتبات ذات مستوى أعلى

لا يوفر نموذج برمجة RDD سوى مجموعات من الأغراض الموزعة ووظائف تتفقد عليها. لكننا باستعمال RDDs، نبنو مجموعة متنوعة من المكتبات العالية المستوى على سبارك، مستهدفين عددًا من حالات الاستعمال لمحركات حوسبة متخصصة. والفكرة الأساسية هي أنه إذا كنا نتحكم في بنى المعطيات المخزنة داخل RDDs، وتجزئ المعطيات على العقد، والوظائف التي تتفقد عليها، عندئذ يمكننا تجيز عدة تقنيات تنفيذ في محركات أخرى. في الواقع، وكما سنعرض في هذه الفقرة، تُحقّق هذه المكتبات في كثير من الأحيان الأداء الأكثر تطورًا لكل مهمة، وتقدّم في الوقت نفسه فوائد عظيمة عندما يدمجها المستعملون. سنناقش الآن المكتبات الرئيسية الأربعة المتضمنة في أباتشي سبارك:

اللغة SQL والأطر DataFrames. إن أخذ أكثر نماذج معالجة المعطيات شيوعًا هو الاستعلامات العلائقية. وتتجزّ Spark SQL [2] وسابقتها Shark [23] استعلامات كهذه على سبارك، باستعمال تقنيات مشابهة لقواعد المعطيات التحليلية.



الشكل 4. أداء الانحسار اللوجستي في Hadoop MapReduce مقابل سبارك GB100 من المعطيات على 50 عقدة ذاكرة EC2 (في أمازون) ذات m2.4xlarge (M2 High Memory Quadruple Extra Large).

فعلى سبيل المثال، يدعم هذان النظامان التخزين العمودي (columnar storage)، والاستمثال المستند إلى التكلفة، وتوليد الرموز لتنفيذ الاستعلام. وتتمثل الفكرة الرئيسية وراء هذه النظم في أن نستعمل داخل RDDs نسق المعطيات نفسه الموجود في قواعد المعطيات التحليلية – أي التخزين العمودي المضغوط. وفي Spark SQL، يحتفظ كل سجل في RDD بسلسلة من الصفوف المخزنة بنسق اثنائي، ويولّد النظام الرموز للتنفيذ مباشرة على ذلك النسق.

وقد استعملنا محرك Spark SQL - بعد أن شغلنا استعلامات SQL - لتوفير تجريد ذي مستوى أعلى لتحويلات المعطيات الأساسية المسماة DataFrames [2]، التي هي مجموعات RDDs من سجلات ذات مخطط معروف. إن محرك DataFrames هو تجريد شائع للمعطيات الجدولية (tabular data) في اللغتين R و Python، وله طرق برمجية لترشيح أعمدة جديدة وحوسبتها وتجميعها. في سبارك، تحال هذه العمليات إلى محرك Spark SQL وتتلقى جميع الاستمثالات الخاصة به. سنناقش DataFrames أكثر لاحقاً.

وتجدر الإشارة إلى أن ثمة تقنية غير منجزة بعد في Spark SQL هي الفهرسة، مع أن مكتبات أخرى مبنية على Spark (مثل IndexedRDDs [3]) تستعملها.

نُفق سبارك. ينجز دُفق سبارك (Spark Streaming) [26] معالجةً دقيقة متزايدة باستعمال نموذج يسمى "الدقات المتقطعة (discretized streams)". ولتنجيز الدفق على سبارك، نقسم معطيات الدخل إلى دفعات صغيرة (دفعة لكل 200 ملي ثانية مثلاً) ونجمعها بانتظام مع الحالة المخزنة في RDDs لتوليد نتائج جديدة. وبتنفيذ حسابات الدفق بهذه الطريقة نجني فوائد عديدة مقارنةً بالنظم الدفقية الموزعة التقليدية؛ منها، على سبيل المثال، أن تحمل الخلل سيكون أقل تكلفة بسبب استعمال النسب، ومنها إمكان جمع الدفق مع الدفعة والاستعلامات التفاعلية.

GraphX. يوفر GraphX [6] واجهة حساب بيانية شبيهة بـ Pregel و GraphLab [10, 11]، وينجز استمثالات المواضيع نفسها التي توفرها هاتان الواجهتان (كمخططات تجزيء الرؤوس (vertices) مثلاً) اعتماداً على اختياره لوظيفة التجزيء المستعملة لمجموعات RDDs التي يقوم ببنائها.

MLlib. تمثل MLlib [14] مكتبة سبارك للتعلم الآلي، وتتجز أكثر من 50 خوارزمية شائعة لتدريب النموذج الموزع، وهي تتضمن - على سبيل المثال - الخوارزميات الموزعة الشائعة المتعلقة بأشجار القرار (PLANET)، وتخصيص ديرشلي الكامن (Latent Dirichlet Allocation)، وتحليل المصفوفات إلى عوامل بطريقة أقل التريعات المتناوبة (Alternating Least Squares matrix factorization).

الجمع بين مهام المعالجة. تعمل مكتبات سبارك جميعها على مجموعات RDDs بصفقتها تجريد معطيات، وهذا ما يجعلها سهلة للجمع في التطبيقات. فمثلاً، يبين الشكل 5 برنامجاً يقرأ معطيات تويتر (Twitter) المحفوظة، باستعمال Spark SQL، ويدرب نموذج العنقدة K-means باستعمال MLlib، ثم يطبق النموذج على دفقة جديدة من التغريدات (tweets). ومن السهل تمرير مهام المعطيات التي تُرجعها كل مكتبة (وهي هنا مجموعة RDD للتغريدة المحفوظة ونموذج K-means) إلى مكتبات أخرى. وبصرف النظر عن التوافق على مستوى API، فإن التركيب في سبارك فعال أيضاً على مستوى التنفيذ، لأن لدى سبارك إمكان الاستمثال على مستوى مكتبات المعالجة. فمثلاً، إذا نُفذت إحدى المكتبات الوظيفة map، ونُفذت المكتبة التالية map على نتائج الوظيفة الأولى، فإن سبارك يدمج هاتين العمليتين في عملية map واحدة. وبالمثل، تعمل آلية الاستعادة من الخلل الخاصة بسبارك بسلاسة على هذه المكتبات، فيعاد حساب المعطيات المفقودة بصرف النظر عن المكتبات التي ولدتها.

الأداء. إذا كانت هذه المكتبات تعمل على المحرك نفسه، فهل تفقد شيئاً من الأداء؟ وجدنا أنه لدى تنجيز الاستمثالات التي أجملناها آنفاً في RDDs، يمكننا في كثير من الأحيان إحراز الأداء للمحركات المتخصصة. فمثلاً، يقارن الشكل 6 أداء

```
// Spark SQL باستخدام RDD في حمل معطيات تاريخية في
val trainingData = sql(
  "SELECT location, language FROM old_tweets")

// MLib باستخدام K-means
val model = new KMeans()
  .setFeaturesCol("location")
  .setPredictionCol("language")
  .fit(trainingData)
// طَبِّق النموذج على تغريداتٍ جديدة في دفقة
TwitterUtils.createStream(...)
  .map(tweet => model.predict(tweet.location))
```

الشكل 5. مثال يجمع بين SQL، والتعلم الآلي، ومكتبات الدفع في سبارك.

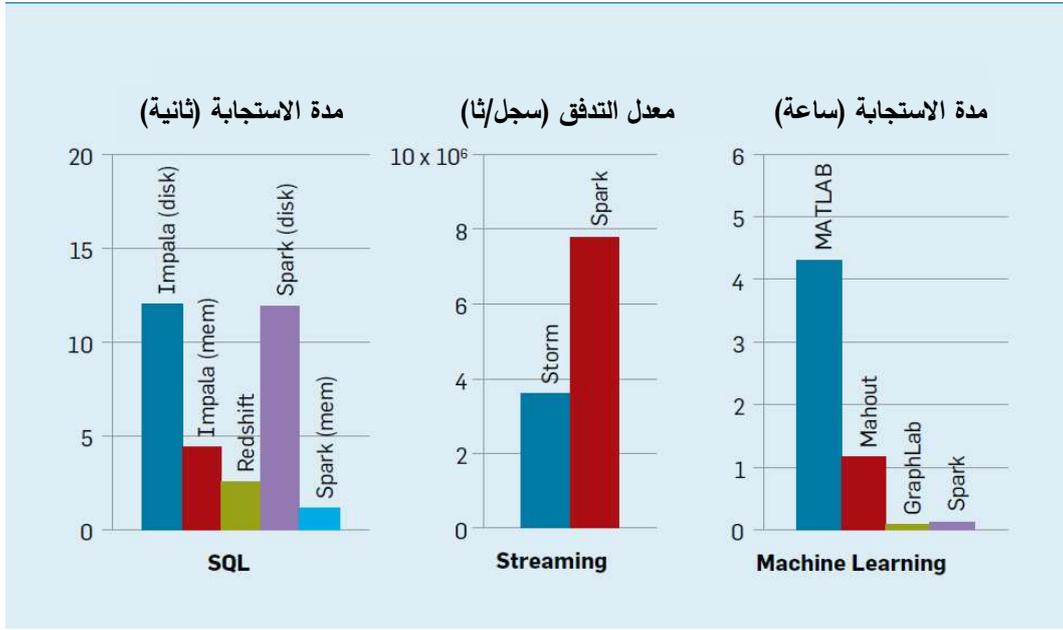
سبارك لثلاث مهام بسيطة - استعمال SQL، وعدّ دفقة كلمات، وتحليل المصفوفات إلى عوامل بطريقة أقل التريعات المتناوبة (ALS) (Alternating Least Squares matrix factorization) - بأداءٍ محركاتٍ أخرى. ولما كانت النتائج تختلف باختلاف الأحمال، فإن سبارك قابل للمقارنة عموماً بنُظُمٍ متخصصة، مثل Storm و GraphLab و Impala<sup>3</sup>. ففي حالة المعالجة الدفقية، ومع أننا بيّنا نتائج تجيزٍ موزع على Storm، فإن إنتاجية كل عقدة هي أيضاً قابلة للمقارنة بإنتاجية المحركات الدفقية التجارية، مثل Oracle CEP [26].

وحتى في برامج قياس الأداء (benchmarks) الشديدة التنافسية، حققنا الأداء الأكثر تطوراً باستعمال أباتشي سبارك. ففي عام 2014، دخلنا المعيار Daytona Gray Sort Benchmark (<http://sortbenchmark.org/>) المتعلق بفرز 100 تيرابايت (TB) من المعطيات على القرص، وأحرزنا رقماً قياسياً جديداً مع نظامٍ متخصصٍ مُنشأ للفرز على عددٍ مماثل من الآلات فقط. وكما هو الحال في الأمثلة الأخرى، كان هذا ممكناً لأننا استطعنا تجيز كلٍ من استمثالات الاتصال ووحدة المعالجة المركزية اللازمين للفرز الواسع النطاق داخل نموذج RDD.

## تطبيقات

يُستعمل أباتشي سبارك في مجال عريض من التطبيقات. وقد اكتشفتُ دراساتنا المسحية عن مستعملي سبارك وجود أكثر من 1000 شركة تستعمل سبارك، في مجالات متعددة: بدءاً من خدمات الويب، إلى التقنية الحيوية، إلى التمويل. وفي الأوساط الأكاديمية، شهدنا أيضاً تطبيقات في العديد من المجالات العلمية. وباستعراض هذه الأحمال، نجد أن المستعملين يستفيدون من عمومية سبارك، وأنهم غالباً ما يجمعون بين مكتباته المتعددة. سنتناول هنا بعض حالات الاستعمال الكبرى، علماً بأن العروض التقديمية بشأن العديد من حالات الاستعمال متوفرة أيضاً على موقع مؤتمر قمة سبارك على الويب (<http://www.sparksummit.org>).

<sup>3</sup> نمة مجال واحد تفوقت فيه التصميمات الأخرى في الأداء على سبارك، يتمثل بحسابات بيانية معينة [12، 16]. ومع ذلك، فإن هذه النتائج تخص خوارزمياتٍ نسب الحساب-إلى-الاتصال فيها منخفضة (مثل ترتيب الصفحات (PageRank)) حيث يكون التلبّث (latency) كبيراً بسبب الاتصالات المتزامنة في سبارك. وفي التطبيقات التي تحوي حساباتٍ أكثر (مثل خوارزمية ALS) فإن توزيع التطبيق على سبارك لا يزال عاملاً مساعداً.



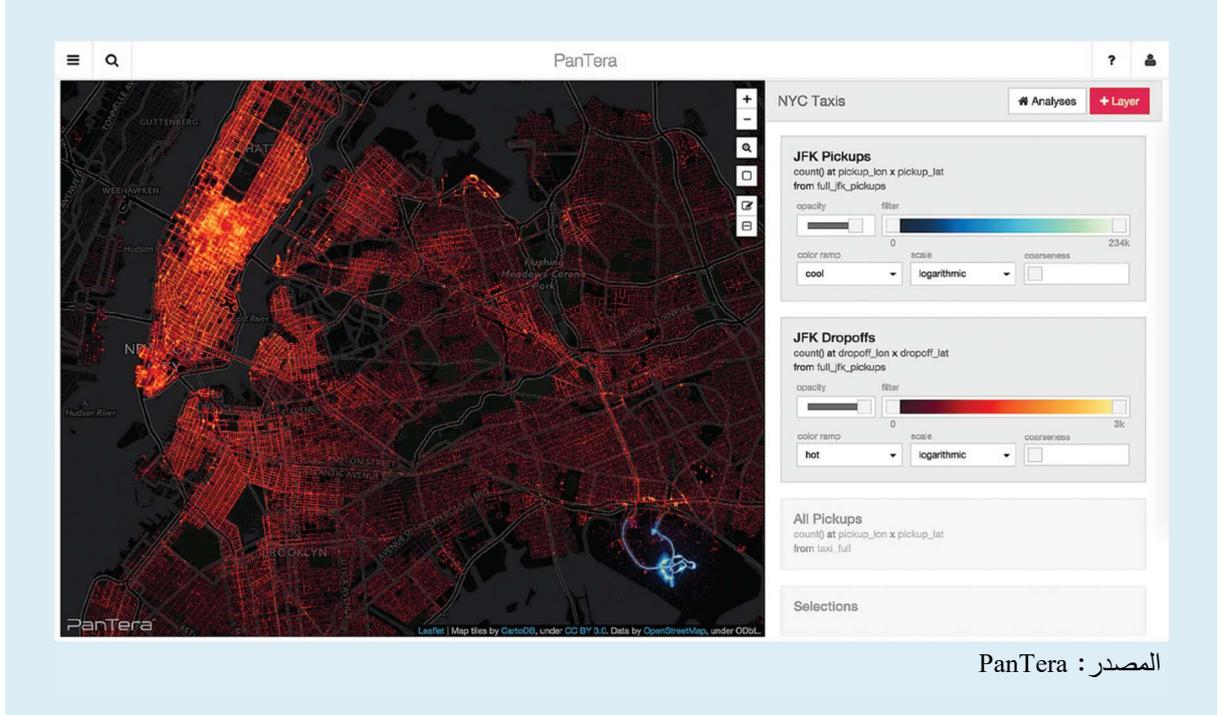
الشكل 6. مقارنة أداء سبارك بالعديد من النظم المتخصصة المستعملة على نطاق واسع لأغراض SQL، والدفق، والتعلم الآلي. المعطيات مأخوذة من Zaharia [24] (استعلام SQL، وعدد دقة كلمات) و Sparks et al. [17] (تحليل المصفوفات إلى عوامل بطريقة أقل التريعات المتناوبة).

المعالجة النفعية. إن أكثر تطبيقات سبارك شيوعاً هي المخصصة للمعالجة الدفعية على مجموعات المعطيات الضخمة، ومنها أحمال الاستخراج-التحويل-التحميل لتحويل المعطيات من نسق خام (مثل ملفات السجل) إلى نسق ذي بنية أكثر تنظيمًا، والتدريب المفصول عن الخط لنماذج التعلم الآلي. من الأمثلة المنشورة لهذه الأحمال: إضفاء الطابع الشخصي للصفحات (page personalization) وتوصية صفحات على "Yahoo!"; إدارة تجمع معطيات على Goldman Sachs؛ التنقيب في البيان على "Alibaba" (علي بابا)؛ الحساب المالي للقيمة على المخاطرة (Value at Risk)؛ التنقيب في النصوص المتعلقة بملاحظات الزبائن عند تويوتا. إن أضخم حالة استعمال منشورة تعلمها هي عنقود مؤلف من 8000 عقدة في الشبكة الاجتماعية الصينية تن-سنت (Tencent) التي تستوعب بيتابايتاً واحداً (1 PB) من المعطيات في اليوم الواحد [22].

وعلى حين يمكن سبارك معالجة المعطيات في الذاكرة، فإن العديد من التطبيقات في هذه الفئة تتفد على القرص فقط. وفي مثل هذه الحالات، لا يزال بإمكان سبارك تحسين الأداء مقارنةً بـ MapReduce بسبب دعمه لبيانات (graphs) ذات مؤثرات شديدة التعقيد.

الاستعلامات التفاعلية. يصنّف الاستعمال التفاعلي لسبارك إلى ثلاث فئات رئيسية: الأولى، تستعمل المؤسسات بيئة Spark SQL للاستعلامات العلائقية، ويكون ذلك غالباً بواسطة أدوات نكاء الأعمال مثل Tableau. ومن أمثلة ذلك: eBay و Baidu. الثانية، يمكن المطورين وعلماء المعطيات استعمال واجهات Spark Scala و Python و R تفاعلياً بواسطة المظارف (shells) أو البيئات المرئية للحاسوب المفكرة، وهذا الاستعمال التفاعلي هو أمر حاسم لطرح أسئلة أكثر تقدماً ولتصميم النماذج التي تؤدي في النهاية إلى تطبيقات إنتاجية، وهو أمر شائع في جميع عمليات النشر. الثالثة، طوّر العديد

من البائعين تطبيقات تفاعلية خاصة بمجال معيّن تعمل على سبارك. ومن الأمثلة على ذلك: Tresata (مكافحة غسل الأموال)، و Trifacta (تنظيف المعطيات)، و PanTera (إظهار مرئي على نطاق واسع، كما في الشكل 7).

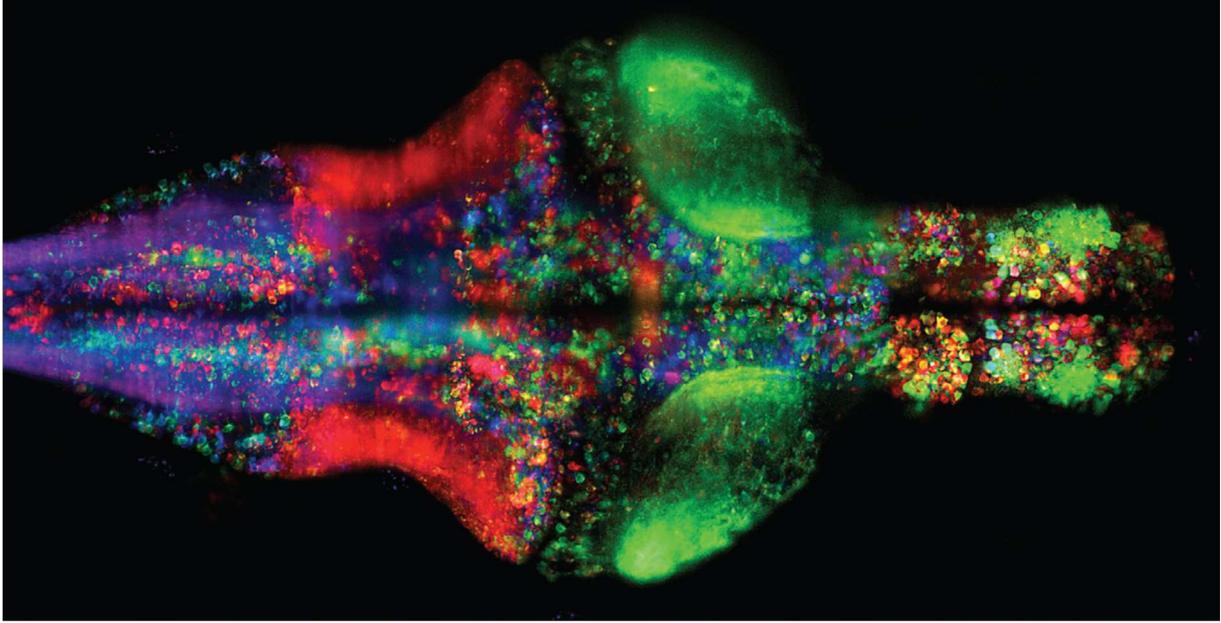


الشكل 7. برمجية PanTera، وهو تطبيق للإظهار مبني على سبارك يمكنه ترشيح المعطيات تفاعلياً.

المعالجة الدقيقة. تُعدّ المعالجة في الزمن الحقيقي أيضاً حالة استعمالٍ شائعة، سواء في التحليلات أو في تطبيقات اتخاذ القرار في الزمن الحقيقي. تشمل حالات الاستعمال المنشورة في مجال المعالجة الدقيقة باستعمال (Spark Streaming): مراقبة أمان الشبكة عند Cisco، والتحليلات الإرشادية لدى Samsung SDS، والتنقيب في السجلات لدى Netflix. وكثير من هذه التطبيقات يجمع أيضاً الدفق مع الاستعلامات التفاعلية. فمثلاً تستعمل شركة الفيديو Conviva سبارك للمحافظة باستمرارٍ على نموذجٍ لأداءٍ مخدم توزيع المحتوى، فتستعلم منه تلقائياً كلما نقلت زبائن من مخدم إلى آخر، في تطبيقٍ يتطلب عملاً متوازياً كبيراً لصيانة النموذج والاستعلامات.

تطبيقات علمية. استعمل سبارك أيضاً في العديد من المجالات العلمية، منها الكشف عن الرسائل الواغلة (spam) على نطاق واسع [19]، ومعالجة الصور [27]، ومعالجة المعطيات الجينية [15]. ومن الأمثلة التي تجمع بين المعالجة الدفعية والتفاعلية والدفعية منصة Thunder (الرعد) الخاصة بعلم الأعصاب في معهد هوارد هغز (Howard Hughes) الطبي، مزرعة جانيليا (Janelia Farm) [5]. صممت المنصة لمعالجة معطيات تصوير الدماغ من تجارب أجريت في الزمن الحقيقي، يمكن أن يبلغ حجمها 1 تيرابايت/ساعة في حالة تصوير الدماغ الكامل لكائنات حية (مثل السمك الصغير المخطّط والفئران). وباستعمال Thunder يستطيع الباحثون تطبيق خوارزميات التعلم الآلي (مثل العقدة وتحليل المكونات الأساسية (PCA)) لتعرّف العصبونات (neurons) المشاركة في سلوكٍ محدد. ويمكن تنفيذ الرمز نفسه في مهام دفعية على معطيات

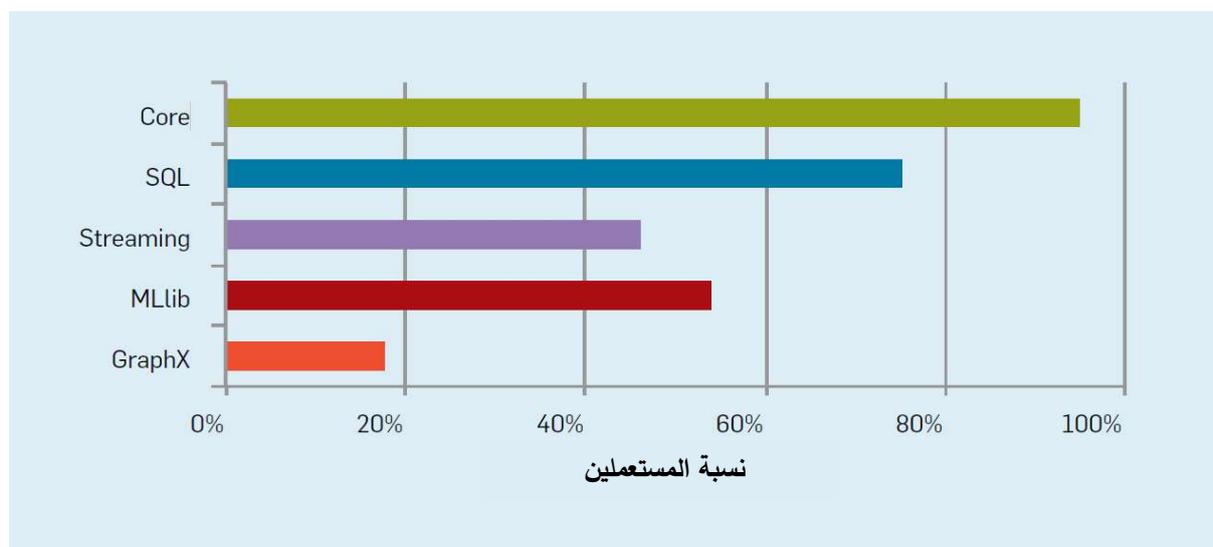
من تنفيذات سابقة أو في استعلامات تفاعلية أثناء إجراء تجارب حية. يبيّن الشكل 8 مثالاً على صورة جرى توليدها باستعمال سبارك.



الشكل 8. إظهار العصبونات في دماغ السمك الصغير المخطّط بواسطة سبارك، حيث يلوّن كل عصبون على أساس اتجاه الحركة التي ترتبط بنشاطه. (المصدر: Jeremy Freeman & Misha Ahrens, Janelia Research Campus)

مكونات سبارك المستعملة. نظرًا إلى أن سبارك محرك موحد لمعالجة المعطيات، فإن السؤال الطبيعي هو: كم عدد مكاتبته التي تستعملها المؤسسات بالفعل؟ أظهرت دراساتنا المسحية لمستعملي سبارك أن المؤسسات تستعمل مكونات متعددة بالفعل، إذ إن أكثر من 60% من المؤسسات تستعمل ثلاثة على الأقل من واجهات برمجة تطبيقات (API) سبارك. يبيّن الشكل 9 معدّل استعمال كل مكون من مكونات دراسية مسحية عن سبارك في شهر تموز (يوليو) 2015 أجراها Databricks، حيث بلغ فيها عدد المستجيبين للدراسة 1400 شخص، وحيث نُعدّ واجهة API الأساسية في سبارك (Spark Core API) (مجموعات RDDs فقط) مكونًا واحدًا والمكتبات التي هي من مستوى أعلى بقية المكونات. وقد وجدنا أن العديد من المكونات مستعملة على نطاق واسع، وأن Spark Core و SQL هما الأوسع شعبية، وأنّ الدفق يُستعمل في 46% من المؤسسات، وأنّ التعلّم الآلي يُستعمل في 54%. وعلى حين لا يُظهر الشكل 9 مباشرة أن معظم المؤسسات تستعمل مكونات متعددة؛ فإن 88% من المؤسسات تستعمل مكونين على الأقل منها، و60% تستعمل ثلاثة على الأقل (مثل Spark Core واثنين من المكتبات)، و 27% تستعمل أربعة مكونات على الأقل.

بيئات النشر. ونرى أيضًا تنوعًا متناميًا في أماكن تنفيذ تطبيقات أباتشي سبارك ومصادر المعطيات التي تتصل بها. وفي حين كانت عمليات نشر سبارك الأولى في بيئات Hadoop عمومًا، فإن 40% فقط من عمليات النشر في الدراسة



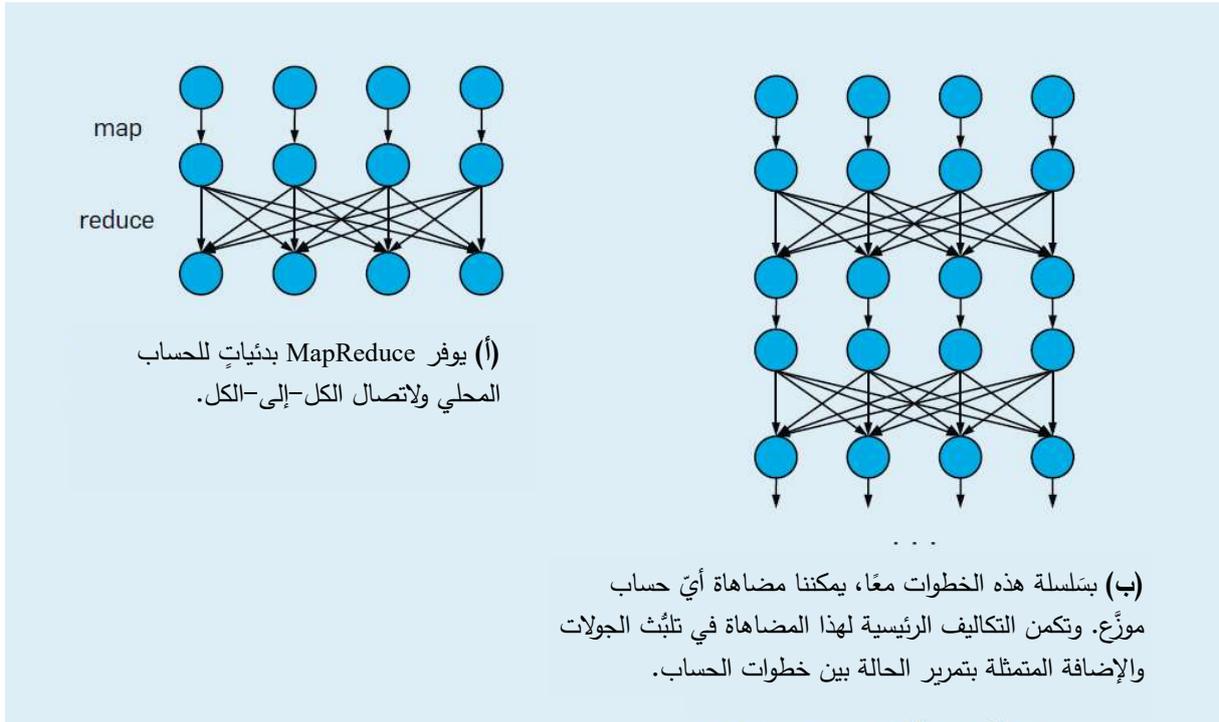
الشكل 9. النسبة المئوية للمؤسسات التي تستعمل كل مكون من مكونات سبارك، مأخوذة من دراسة مسحية عن سبارك لـ Databricks، 2015؛ <https://databricks.com/blog/2015/09/24/>.

المسحية عن سبارك في شهر تموز 2015 نُفِذت على برنامج إدارة العنقود Hadoop YARN. إضافة إلى ذلك، فإن 52٪ من المستجيبين للدراسة نفذوا سبارك على سحابة عامة.

### لماذا يعتبر نموذج سبارك عامًا؟

لقد أثبت أباتشي سبارك أن نموذج البرمجة العنقودية الموحد مُجِدٌّ ومفيد على حدٍ سواء، ومع ذلك فهو يساعد على فهم ما يجعل نماذج البرمجة العنقودية عامةً، مع الأخذ بالحسبان قيود سبارك. سنلخص هنا نقاشًا حول عمومية مجموعات RDDs من Zaharia [24]، وسندرس RDDs من منظورين. الأول، من وجهة نظر تعبيرية، فنقول إن RDDs يمكنها أن تضاهي أي حسابات موزعة، وستقوم بذلك بكفاءة في كثير من الحالات ما لم يكن الحساب حساسًا للتلبّث على الشبكة. الثاني، من وجهة نظر النظم، حيث نبيّن أن RDDs تمكّن التطبيقات من التحكم في أكثر الموارد شيوعًا التي تسبب اختناقات في العناقيد - وهي الشبكة، ودخل/خرج التخزين - ومن ثمّ تمكّن من التعبير عن الاستمثالات نفسها لهذه الموارد التي تميّز النظم المتخصصة.

*منظور التعبيرية.* لدراسة تعبيرية RDDs، نبدأ بمقارنة RDDs بنموذج MapReduce الذي تعتمد عليه RDDs. السؤال الأول هو: ما هي الحسابات التي يمكن أن يقوم بها MapReduce نفسه؟ وعلى الرغم من وجود العديد من المناقشات حول محدودية MapReduce، فإن الإجابة المدهشة هنا هي أن MapReduce يمكن أن يحاكي أي حساب موزع. وللوقوف على هذا، نلاحظ أن أي حساب موزع يتكون من عُقد تُجري حسابات محلية وأحيانًا تتبادل الرسائل. يوفر MapReduce العملية map التي تؤدي حسابًا محليًا، وعملية الاختزال reduce التي تؤدي الاتصال من الكل إلى الكل (all-to-all). ولذلك يمكن مضاهاة أي حساب موزع، ربما بأسلوب غير فعّال إلى حدٍ ما، وذلك بتقسيم المهمة الحسابية إلى خطوات زمنية، وتنفيذ التقابلات (maps) لأداء الحساب المحلي في كل خطوة زمنية، وتشكيل الدُفعات وتبادل الرسائل في



الشكل 10. مضاهاة حساب موزّع كيني باستعمال MapReduce.

نهاية كل خطوة بعملية اختزال (reduce). ستجمع سلسلة من خطوات MapReduce النتيجة كلها، كما هو مبين في الشكل 10. وقد صاغت أعمالاً نظرية حديثة هذا النوع من المضاهاة بإثبات أن MapReduce يمكن أن يحاكي العديد من الحسابات في نموذج آلة النفاذ العشوائي المتوازي (PRAM: Parallel Random Access Machine) [8]. ويُعدّ MapReduce المتكرّر معادلاً أيضاً لنموذج التوازي المتزامن بالجملة (Bulk Synchronous Parallel) [20].

وعلى حين يُظهر هذا المنحى من العمل أن MapReduce يمكن أن يضاهي أيّ حساباتٍ كانت، فإنّ ثمة مشكلتين يمكن أن تجعلها "العامل الثابت" وراء هذه المضاهاة عاليًا. المشكلة الأولى، أن MapReduce لا يتسم بالكفاءة في المشاركة في المعطيات باستعمال الخطوات الزمنية، لأنه يعتمد على نظم تخزين خارجية مكرّرة لهذا الغرض. وعليه، قد يصبح نظام المضاهاة الخاص بنا أبطأ لأنه يسجل حالته بعد كل خطوة. المشكلة الثانية، أن التلبّث الذي تتطلبه خطوات MapReduce يحدّد مدى مطابقتنا لمضاهاتنا للشبكة الحقيقية، وأنّ معظم تنحيّزات MapReduce صُمّمت للبيئات الدفعية بتلّبّث يقع بين الدقائق والساعات.

يتعامل RDDs وسبارك كلاهما مع هذه القيود. فمن جهة المشاركة في المعطيات، تجعل RDDs المشاركة في المعطيات سريعةً بتجنّب اتخاذ نسخٍ من المعطيات الوسيطة، ويمكنها أن تضاهي بأمانة "المشاركة في المعطيات" في الذاكرة مع مرور الوقت، وهذا ما يمكن أن يحدث في نظام يتكون من إجراءاتٍ طويلة التنفيذ. ومن جهة التلبّث، يمكن أن ينفذ سبارك خطواتٍ مشابهة لـ MapReduce على عناقيد ضخمة ذات تلبّث قدره 100 ms؛ ولا يوجد في نموذج MapReduce ما يمنع من هذا. وعلى حين أن بعض التطبيقات تحتاج إلى خطواتٍ زمنية واتصالٍ أكثر دقة، فإن التلبّث 100 ms يعدّ

كافيًا لتجزيز العديد من الأحمال الكثيفة الاستعمال للمعطيات، حيث إن مقدار الحساب الذي يمكن تجميعه ضمن دُفعات قبل خطوة الاتصال يكون عاليًا.

وباختصار، تعتمد RDDs على مقدر MapReduce على مضاهاة أي حساباتٍ مؤرعة، لكنها تجعل هذا المضاهاة أكثر فاعلية. ومع ذلك، توجد محدودية رئيسية تتمثل في زيادة التلبُّث بسبب التزامن في كل خطوة اتصال، لكنَّ هذا التلبُّث في كثير من الأحيان ليس عاملاً هامًا.

منظور النظم. يمكننا - بمعزلٍ عن نهج المضاهاة لتوصيف عمومية سبارك - اتباع نهج النظم. ولكن، ما هي الموارد التي تسبب عنق الزجاجة في حسابات العنقود؟ وهل يمكن لمجموعات RDDs أن تستعملها بكفاءة؟ إنَّ التطبيقات العنقودية متنوعة، ومع ذلك فهي مرتبطة بالخصائص نفسها للعتاد الأساسي. وتحتوي مراكز المعطيات الحالية هرمية تخزينٍ عالية تعقيدٍ معظم التطبيقات بطرقٍ مشابهة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يحوي عنقود نموذجي من Hadoop الخصائص التالية:

**التخزين المحلي.** تحوي كلُّ عقدة ذاكرة محلية فيها ما يقرب من 50 غيغابايت/ثانية من عرض النطاق، إضافة إلى 10 إلى 20 قرصًا محليًا، أي ما يعطي 1 غيغابايت/ثانية إلى 2 غيغابايت/ثانية تقريبًا من عرض نطاق القرص؛  
**الوصلات.** تحوي كلُّ عقدة وصلةً بسرعة 10 غيغابت في الثانية (1.3 غيغابايت/ثانية)، أو أقل بـ 40 مرة تقريبًا من عرض نطاق الذاكرة، وأقل بمرتين من عرض النطاق الكلي للقرص؛  
**الرفوف.** تنظَّم العُقد في رفوف (racks) مكوَّنة من 20 إلى 40 آلة، يقع عرض نطاق خُرُج كلِّ رفٍ بين 40 و 80 غيغابت في الثانية، أو أقل بمرتين إلى خمس مرات من أداء الشبكة داخل الرف.

انطلاقًا من هذه الخصائص، فإن أكثر اهتمامات الأداء أهميةً في العديد من التطبيقات هو موضع المعطيات والحساب في الشبكة. ولحسن الحظ، توفر RDDs التسهيلات للتحكم في هذا الموضع؛ إذ تسمح الواجهة للتطبيقات بوضع الحسابات بالقرب من معطيات الدخل (بواسطة واجهة API مخصصة "للأماكن المفضلة" لمصادر الدخل [25])، وتوفر RDDs التحكم في تجزئة المعطيات وتجميعها (مثل ذلك تحديد تلبيد المعطيات بواسطة مفتاح معين). وهكذا يمكن أن تقوم المكتبات (كمكتبة GraphX مثلًا) بتنفيذ استراتيجيات إيجاد المواضع نفسها المستعملة في النظم المتخصصة [6].

وبعيدًا عن عرض النطاق للشبكة وللدخل/الخرج، فإن عنق الزجاجة الأكثر شيوعًا يميل لأن يكون هو وقت وحدة المعالجة المركزية، وخاصةً إذا كانت المعطيات في الذاكرة. ومع ذلك، يمكن أن ينفذ سبارك، في هذه الحالة، الخوارزميات والمكتبات نفسها المستعملة في النظم المتخصصة على كل عقدة. فمثلًا، يستعمل سبارك التخزين والمعالجة العمودية المتوفرين في Spark SQL، ومكتبات BLAS الأصلية في MLlib، وغيرها. وكما ناقشنا في وقتٍ سابق، فإن من الواضح أن المجال الوحيد الذي تضيف فيه RDDs تكلفةً هو تلبُّث الشبكة، وذلك بسبب التزامن في خطوات الاتصال المتوازية.

وثمة ملاحظة أخيرة من منظور النظم هي أن سبارك قد يجزُّ على نفسه تكاليف إضافية على بعض النظم المتخصصة الموجودة في هذه الأيام، وذلك بسبب تحمُّل الخلل. ففي سبارك مثلًا، تحفظ مهام التقابل (map) في كلِّ عملية خلطٍ (shuffle) خرجها في ملفات محلية في الآلة التي تتفَّذ عليها، لذا يمكن لمهام الاختزال (reduce) إحضارها ثانيةً فيما بعد. وإضافة إلى ذلك، ينجز سبارك حاجزًا (barrier) في مراحل الخلط (shuffle)، لذا لا تبدأ المهام reduce حتى تنتهي جميع المهام maps. وهذا يجنبنا بعض التعقيدات التي قد تكون مطلوبة للاستعادة بعد العطل في حالة "دفع" السجلات مباشرةً من maps إلى reduces بتمريرٍ أنبوبي (pipelined). ومع أن من شأن إزالة بعض هذه الميزات تسريع النظام، فإن سبارك غالبًا

ما يسجل أداءً تنافسيًا على الرغم من وجود هذه الميزات. والسبب الرئيسي في ذلك هو حُجَّة مشابهة لُحِّجْنَا السابقة، وهي أن العديد من التطبيقات مبروطة بعمليات دخل/خروج (مثل خلط المعطيات على الشبكة أو قراءتها من قرص)، وبعيدًا عن هذه العملية فإن الاستمثالات (مثل التمرير الأنبوبي (pipelining)) لا تضيف إلا فائدة متواضعة. لقد جعلنا تحمُّل الخلل معمولًا به بالاعتقال (by default) في سبارك وذلك لتسهيل التفكير في التطبيقات.

## الأعمال الجارية

لا يزال أباتشي سبارك مشروعًا سريع التطور، وتسهم فيه جهات صناعية وبحثية. وقد نما حجم قاعدة الرماز المطور ستة أضعاف منذ حزيران (يونيو) 2013، وشمل معظم النشاط العمل على مكتبات جديدة، وثمة أكثر من 200 حزمة متاحة أيضًا من طرف ثالث.<sup>4</sup> وُبيِّت في مجتمع الأبحاث عدة مشاريع على سبارك في بيركلي ومعهد MIT وستانفورد، ويأتي العديد من المكتبات الجديدة (مثل GraphX و Spark Streaming) من مجموعات بحثية. سنضع هنا مخططًا لأربعة من الجهود الرئيسية.

أطر *DataFrames* وواجهات *APIs* أكثر تصريحية. كانت واجهة *API* الأساسية في سبارك قائمة على البرمجة الوظيفية لمجموعات موزعة تحتوي على أنواع اختيارية من أغراض *Scala* أو *Java* أو *Python*. وعلى حين كان هذا النهج شديد الوضوح في التعبير، فإنه جعل البرامج أكثر صعوبة في التحليل والاستمثال الآليين. يمكن أن يكون لأغراض *Scala/Java/Python* المخزنة في *RDDs* بنية معقدة، ويمكن أن تتضمن الوظائف التي تتفَعُّ عليها رمازًا اختياريًا. وفي العديد من التطبيقات، يمكن أن يَحَقِّق المطورون أداءً مثاليًا جزئيًا إذا لم يستعملوا المؤثرات (*operators*) المناسبة؛ فمثلًا، لا يمكن أن يمرر النظام من تلقاء نفسه وظائف الترشيح (*filter*) قبل *maps*.

ولمعالجة هذه المشكلة، قمنا بتوسيع سبارك في عام 2015 لإضافة واجهة *API* أكثر تصريحية تسمى *DataFrames* [2] مبنية على الجبر العلائقي. إطارات المعطيات (*data frames*) هي واجهة برمجة تطبيقات (*API*) شائعة للمعطيات الجدولية في اللغتين *Python* و *R*. وإطار المعطيات هو مجموعة من السجلات ذات مختطة (*schema*) معروفة، تكافئ أساسًا جدولًا في قاعدة المعطيات، بحيث تُدعم عمليات مثل الترشيح والتجميع باستعمال واجهة *API* "لتعبير" مقيدة. لكن، على عكس العمل في لغة *SQL*، يجري استدعاء العمليات على إطار المعطيات عن طريق استدعاءات وظيفة (*function*) في لغة برمجة أكثر عمومية (مثل *Python* و *R*)، وهذا ما يسمح للمطورين بتنظيم برنامجهم بسهولة باستعمال التجريدات في لغة المضيف (مثل الوظائف والصفوف (*classes*)). يبيِّن الشكل 11 والشكل 12 مثالين على واجهة *API*.

تُقدِّم *DataFrames* الخاصة بسبارك واجهة *API* شبيهة بواجهة *API* لَحُرْمِ عقدة مفردة، لكنها تقوم آليًا بتنجز الحساب على التوازي واستمثاله باستعمال مخطَّط استعمال *Spark SQL*. يتلقى رمازُ المستعملِ بذلك عمليات استمثال (مثل دفع إسنادية للأسفل (*predicate pushdown*))، وإعادة ترتيب المؤثرات، واختيار خوارزمية الضم (*join*) لم تكن متوفرة في

<sup>4</sup> دليل إحدى الحزم متاح في <https://spark-packages.org/>.

واجهة API العاملة في سبارك. إن Spark DataFrames هي -فيما نعلم- أول مكتبة تقوم بمثل هذه الاستمثالات العلائقية في واجهة API لإطار المعطيات<sup>5</sup>.

ومع أن الأطر DataFrames لا تزال جديدة، فسرعان ما أصبحت واجهة API شائعة؛ ففي استطلاعنا الذي يعود إلى شهر تموز (يوليو) 2015، أفاد 60% من المستجيبين أنهم استعملوها. وبسبب نجاح DataFrames، طوّرنّا أيضًا واجهة آمنة النوع مبنية عليها، سمّيت Datasets<sup>6</sup>، تتيح لمبرمجي جافا و Scala رؤية DataFrames كمجموعات (collections) ذات نوع ثابت من أغراض جافا، وهي واجهة شبيهة بواجهة RDD API، ولا تزال تتلقى استمثالات علائقية. ونتوقع أن تصبح واجهات API هذه تدريجيًا التجريد المعياري لتمير المعطيات بين مكتبات سبارك.

*استمثالات الأداء.* لقد كان معظم العمل الأخير في سبارك منصبًا على الأداء؛ ففي عام 2014، بذل فريق Databricks مجهودًا كبيرًا لاستمثال شبكة وبيدثيات الدخل/الخرج الخاصة بسبارك، وهذا ما سمح لسبارك بإحراز رقم قياسي جديد مشترك لتحدي Daytona GraySort<sup>7</sup>. وفي هذا التحدي، استطاع سبارك فَرَزَ TB100 من المعطيات بسرعة تفوق ثلاث مرات سرعة حامل الرقم القياسي السابق المعتمد على Hadoop MapReduce، وباستعمال آلاتٍ أقلّ بعشر مرات من السابق. ولم ينفذ برنامج قياس الأداء هذا في الذاكرة، بل على أقراص (الحالة الصلبة). وفي عام 2015، كان مشروع Tungsten<sup>8</sup> أحد المشروعات الرئيسية الذي أزال آلة جافا الافتراضية (JVM) المضافة من العديد من مسارات رماز سبارك، وذلك باللجوء إلى توليد الرماز وإلى الذاكرة التي لا يُلمّ فتاتها (non-garbage-collected memory). إن إحدى فوائد إجراء هذه الاستمثالات في محرّك عام هي أنها تؤثر في جميع مكتبات سبارك في وقتٍ واحد؛ فأصبح التعلّم الآلي، والمعالجة الدفقية، و SQL جميعها أسرع من كلّ تغيير.

```
users.where(users["age"] > 20)
      .groupBy("city")
      .agg(avg("age"), max("income"))
```

**الشكل 11.** مثال على واجهة API DataFrame الخاصة بسبارك، بلغة Python. وخلافاً لواجهة API الأساسية في سبارك، تحوي DataFrames مختطة ذات أعمدة مسماة (مثل العمر والمدينة) وتأخذ تعبيرات بلغة محدودة (مثل العمر < 20) بدلاً من وظائف Python الكيفية.

<sup>5</sup> أحد أسباب كون الاستمثال ممكنًا أن واجهة API ل DataFrame من Spark تستعمل تقييمًا كسولاً (lazy evaluation)، حيث يؤجّل حساب محتوى الإطار DataFrame إلى حين طلب المستعمل كتابة الإطار. أما واجهات APIs لإطارات المعطيات في لغتي R و Python فتُعدّ حريصة، فهي تمنع استمثالاتٍ مثل إعادة ترتيب المؤثرات (operators).

<sup>6</sup> انظر <https://databricks.com/blog/2016/01/04/introducing-spark-datasets.html>.

<sup>7</sup> انظر <http://sortbenchmark.org/ApacheSpark2014.pdf>.

<sup>8</sup> انظر <https://databricks.com/blog/2015/04/28/>.

```

people <- read.df(context, "./people.json", "json")

# رَشِّح الناس بحسب العمر
adults = filter(people, people$age > 20)

# عُدِّ الأشخاص بحسب الدولة
summarize(groupBy(adults, adults$city), count=n(adults$id))
##      city          count
##1    Cambridge         1
##2    San Francisco     6
##3    Berkeley 4

```

الشكل 12. التعامل مع DataFrames في واجهة R API الخاصة بسبارك. يُحمّل إطار المعطيات DataFrame الموزع باستعمال مصدر المعطيات JSON الخاص بسبارك، ثم يرشّح ويجمّع باستعمال تعبيرات العمود R المعيارية.

دُعْم لغة R. دُمج مشروع SparkR [21] في سبارك في عام 2015 لتوفير واجهة برمجية في R. تُعتمد هذه الواجهة على DataFrames وتُستعمل شكلاً نحويًا مطابقًا تقريبًا لإطارات المعطيات المبنية ضمن R. وقد أصبح من السهل أيضًا استدعاء مكتبات سبارك الأخرى (مثل MLlib) من برنامج R، لأنها تتقبل DataFrames دخلًا. *مكتبات البحث*. يَستمر استعمالُ أباتشي سبارك لإنشاء مكتبات لمعالجة المعطيات على مستوى أعلى. ومن ضمن المشاريع الحديثة: Thunder (الرعد) لعلم الأعصاب [5]، و ADAM (آدم) لعلم الجينوم [15]، و Kira لمعالجة الصور في علم الفلك [27]. إضافة إلى ذلك دُمجت مكتبات بحثية أخرى (كمكتبة GraphX مثلًا) في قاعدة الرموز الرئيسية.

## الخلاصة

ستكون معالجة المعطيات القابلة للتصعّد ضروريةً للجيل التالي من تطبيقات الحاسوب، لكنها ستتضمن مثالًا متتاليًا معقدة من خطوات المعالجة على نظم حوسبة مختلفة. ولتبسيط هذه المهمة، قدّم مشروع سبارك نموذجًا للبرمجة ومحركًا موحدًا لتطبيقات المعطيات الكبيرة. وثبّين خبرتنا أن هذا النموذج يمكن أن يَدعم أحمال اليوم بكفاءة ويجلب فوائد كبيرة للمستعملين. نأمل أن يسلط أباتشي سبارك الضوء على أهمية قابلية التركيب في المكتبات البرمجية الخاصة بالمعطيات الكبيرة ويشجّع على تطوير مكتبات قابلة للتشغيل البيئي بطريقة أكثر سهولة.

إنّ جميع مكتبات أباتشي سبارك الموصوفة في هذه المقالة مفتوحة المصدر ويمكن الحصول عليها من الموقع <http://spark.apache.org/>. وقد أتاحت Databricks أيضًا مقاطع فيديو لجميع كلمات مؤتمر قمة سبارك مجانًا على الموقع <https://spark-summit.org/>.

## شكر وتقدير

أباتشي سبارك هو عمل مئات المساهمين في المصادر المفتوحة الذين نُسب إليهم في ملاحظات الإصدار (release notes) في الموقع <https://spark.apache.org>. وقد دَعَمَ أبحاثَ بيركلي المتعلقة بسبارك جزئياً كلٌّ من: الجائزة CISE Expeditions Award CCF-1139158 العائدة لمؤسسة العلوم الوطنية، والجائزة 7076018 العائدة لمختبر لورانس الوطني في بيركلي، والجائزة FA8750-12-2-0331 التابعة لـ XData من DARPA، وهدايا من كلِّ من خدمات وب في أمازون (AWS)، و Google، و SAP، و IBM، ومؤسسة توماس وستاسي سيبل، وأدوبي، و آبل، و Arimo، و Blue Goji، و بوش، و C3Energy، و سيسكو، و Cray، و Cloudera، و EMC2، و إريكسون، و فيسبوك، و Guavus، و هواوي، و إينفورماتيك، و إنتل، و ميكروسوفت، و NetApp، و Pivotal، و سامسونغ، و شلمبرجير، و Splunk، و Virdata، و VMware.

## المراجع

- [1] Apache Storm project; <http://storm.apache.org>
- [2] Armbrust, M. et al. Spark SQL: Relational data processing in Spark. In *Proceedings of the ACM SIGMOD/PODS Conference* (Melbourne, Australia, May 31–June 4). ACM Press, New York, 2015.
- [3] Dave, A. Indexedrdd project; <http://github.com/amplab/spark-indexedrdd>
- [4] Dean, J. and Ghemawat, S. MapReduce: Simplified data processing on large clusters. In *Proceedings of the Sixth OSDI Symposium on Operating Systems Design and Implementation* (San Francisco, CA, Dec. 6–8). USENIX Association, Berkeley, CA, 2004.
- [5] Freeman, J., Vladimirov, N., Kawashima, T., Mu, Y., Sofroniew, N.J., Bennett, D.V., Rosen, J., Yang, C.-T., Looger, L.L., and Ahrens, M.B. Mapping brain activity at scale with cluster computing. *Nature Methods* 11, 9 (Sept. 2014), 941–950.
- [6] Gonzalez, J.E. et al. GraphX: Graph processing in a distributed dataflow framework. In *Proceedings of the 11th OSDI Symposium on Operating Systems Design and Implementation* (Broomfield, CO, Oct. 6–8). USENIX Association, Berkeley, CA, 2014.
- [7] Isard, M. et al. Dryad: Distributed data-parallel programs from sequential building blocks. In *Proceedings of the EuroSys Conference* (Lisbon, Portugal, Mar. 21–23). ACM Press, New York, 2007.
- [8] Karloff, H., Suri, S., and Vassilvitskii, S. A model of computation for MapReduce. In *Proceedings of the ACM-SIAM SODA Symposium on Discrete Algorithms* (Austin, TX, Jan. 17–19). ACM Press, New York, 2010.
- [9] Kornacker, M. et al. Impala: A modern, open-source SQL engine for Hadoop. In *Proceedings of the Seventh Biennial CIDR Conference on Innovative Data Systems Research* (Asilomar, CA, Jan. 4–7, 2015).
- [10] Low, Y. et al. Distributed GraphLab: A framework for machine learning and data mining in the cloud. In *Proceedings of the 38th International VLDB Conference on Very Large Databases* (Istanbul, Turkey, Aug. 27–31, 2012).
- [11] Malewicz, G. et al. Pregel: A system for large-scale graph processing. In *Proceedings of the ACM SIGMOD/PODS Conference* (Indianapolis, IN, June 6–11). ACM Press, New York, 2010.
- [12] McSherry, F., Isard, M., and Murray, D.G. Scalability! But at what COST? In *Proceedings of the 15th HotOS Workshop on Hot Topics in Operating Systems* (Kartause Ittingen, Switzerland, May 18–20). USENIX Association, Berkeley, CA, 2015.
- [13] Melnik, S. et al. Dremel: Interactive analysis of Webscale datasets. *Proceedings of the VLDB Endowment* 3 (Sept. 2010), 330–339.
- [14] Meng, X., Bradley, J.K., Yavuz, B., Sparks, E.R., Venkataraman, S., Liu, D., Freeman, J., Tsai, D.B., Amde, M., Owen, S., Xin, D., Xin, R., Franklin, M.J., Zadeh, R., Zaharia, M., and Talwalkar, A. MLlib: Machine learning in Apache Spark. *Journal of Machine Learning Research* 17, 34 (2016), 1–7.
- [15] Nothhaft, F.A., Massie, M., Danford, T., Zhang, Z., Laserson, U., Yeksigian, C., Kottalam, J., Ahuja, A., Hammerbacher, J., Linderman, M., Franklin, M.J., Joseph, A.D., and Patterson, D.A. Rethinking

- dataintensive science using scalable analytics systems. In *Proceedings of the SIGMOD/PODS Conference* (Melbourne, Australia, May 31–June 4). ACM Press, New York, 2015.
- [16] Shun, J. and Blleloch, G.E. Ligra: A lightweight graph processing framework for shared memory. In *Proceedings of the 18th ACM SIGPLAN PPOPP Symposium on Principles and Practice of Parallel Programming* (Shenzhen, China, Feb. 23–27). ACM Press, New York, 2013.
- [17] Sparks, E.R., Talwalkar, A., Smith, V., Kottalam, J., Pan, X., Gonzalez, J.E., Franklin, M.J., Jordan, M.I., and Kraska, T. MLI: An API for distributed machine learning. In *Proceedings of the IEEE ICDM International Conference on Data Mining* (Dallas, TX, Dec. 7–10). IEEE Press, 2013.
- [18] Stonebraker, M. and Cetintemel, U. ‘One size fits all’: An idea whose time has come and gone. In *Proceedings of the 21st International ICDE Conference on Data Engineering* (Tokyo, Japan, Apr. 5–8). IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2005, 2–11.
- [19] Thomas, K., Grier, C., Ma, J., Paxson, V., and Song, D. Design and evaluation of a real-time URL spam filtering service. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy* (Oakland, CA, May 22–25). IEEE Press, 2011.
- [20] Valiant, L.G. A bridging model for parallel computation. *Commun. ACM* 33, 8 (Aug. 1990), 103–111.
- [21] Venkataraman, S. et al. SparkR; <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2903740&CFID=687410325&CFTOKEN=83630888>
- [22] Xin, R. and Zaharia, M. Lessons from running largescale Spark workloads; <http://tinyurl.com/largescale-spark>
- [23] Xin, R.S., Rosen, J., Zaharia, M., Franklin, M.J., Shenker, S., and Stoica, I. Shark: SQL and rich analytics at scale. In *Proceedings of the ACM SIGMOD/PODS Conference* (New York, June 22–27). ACM Press, New York, 2013.
- [24] Zaharia, M. *An Architecture for Fast and General Data Processing on Large Clusters*. Ph.D. thesis, Electrical Engineering and Computer Sciences Department, University of California, Berkeley, 2014; <https://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2014/EECS-2014-12.pdf>
- [25] Zaharia, M. et al. Resilient distributed datasets: A fault-tolerant abstraction for in-memory cluster computing. In *Proceedings of the Ninth USENIX NSDI Symposium on Networked Systems Design and Implementation* (San Jose, CA, Apr. 25–27, 2012).
- [26] Zaharia, M. et al. Discretized streams: Fault-tolerant streaming computation at scale. In *Proceedings of the 24th ACM SOSP Symposium on Operating Systems Principles* (Farmington, PA, Nov. 3–6). ACM Press, New York, 2013.
- [27] Zhang, Z., Barbary, K., Nothaft, N.A., Sparks, E., Zahn, O., Franklin, M.J., Patterson, D.A., and Perlmutter, S. Scientific Computing Meets Big Data Technology: An Astronomy Use Case. In *Proceedings of IEEE International Conference on Big Data* (Santa Clara, CA, Oct. 29–Nov. 1). IEEE, 2015.

# نُظْمُ التَّوَصِيَةِ – ما بعد إتمام المصفوفة

## RECOMMENDER SYSTEMS— BEYOND MATRIX COMPLETION\*

Dietmar Jannach, Paul Resnick, Alexander Tuzhilin., Markus Zanker

ترجمة: د. خالد مصري  
مراجعة: د. نزار الحافظ

يعتمد نجاح هذه النُظْم في المستقبل على أكثر من تحدي Netflix.

انفجر استعمال نُظْم التَّوَصِيَةِ على مدى العقد الماضي، مما جعل التوصيات الشخصية واسعة الانتشار على الإنترنت. تستعمل معظم الشركات الكبرى وتتضمن شركات Google و Facebook و Twitter و LinkedIn و Netflix و Amazon و Microsoft و Yahoo! و eBay و Pandora و Spotify وغيرها كثير نُظْم توصية (recommender systems, RS) ضمن خدماتها.

تُستعمل هذه النُظْم للتوصية بمجالٍ كاملٍ من العناصر، تشمل المنتجات الاستهلاكية، والأفلام، والأغاني، والأصدقاء، والمقالات الجديدة، والمطاعم، وأشياء أخرى كثيرة. تُعدُّ نُظْمُ التَّوَصِيَةِ تقانةً عظيمة الشأن لمهمة المؤسسة (mission-critical) في العديد من الشركات. على سبيل المثال، تقيد شركة Netflix أن 75% على الأقل من عمليات التنزيل والتأجير الخاصة يأتي من نُظْمِ التَّوَصِيَةِ العائدة لها، مما يجعل تلك النُظْم ذات أهمية استراتيجية للشركة<sup>1</sup>.

### أفكار رئيسية

- أصبحت نُظْمُ التَّوَصِيَةِ جزءاً موجوداً في كل مكان (ubiquitous) من ممارسة المستخدمين الموصولة إلى الخط في حياتنا اليومية وهي تدعم المستخدمين في مجالات مختلفة.
- حالياً، يشغل المجتمع العلمي بمسائل بحثية اعتماداً على مبادئ استحضار المعلومات والتعلم الآلي في المقام الأول، وهذا يؤدي إلى تحديد خصائص المسألة تحديداً جيداً ولكن على نطاقٍ ضيقٍ.
- نستعرض باختصار تاريخ المجال، ونتحدث عن التطورات الحديثة، ونقترح منهجية بحثٍ أكثر شموليةً تأخذ بالحسبان منظور كلٍ من المستهلك والمزوّد.

فمن ناحيةٍ، تُعدُّ النُظْم التي تنتج هذه التوصيات رائعةً. فهي تدمج مجموعةً متنوعةً من مُميّزات مواصفات المستخدمين والعناصر، تشمل تقييمات الناس الضمنية والصريحة للعناصر. تُعالج النُظْم هذه الإشارات على نطاقٍ واسع، وغالباً تحت قيود في الزمن الحقيقي. وأهمُّ ما في الأمر، أن التوصيات ذات جودةٍ عاليةٍ وسطيّاً. في الاختبارات

\* تُشير هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 59، العدد 11، تشرين الثاني (نوفمبر) 2016، الصفحات 94 – 102.

<sup>1</sup> <http://techblog.netflix.com/2012/04/netflix-recommendations-beyond-5-stars.html>

التجريبية، يختار الناس العناصر المقترحة بمعدل أكبر بكثير من اختيار العناصر المقترحة استناداً إلى خوارزميات قياس أداء (benchmark) غير شخصية (unpersonalized) معتمدة على شعبية العنصر الإجمالية. ومن ناحية أخرى، فإنَّ النُظْمُ التي تنتج هذه التوصيات سيئة أحياناً على نحوٍ لافتٍ. فأحياناً، تُعطي هذه النُظْمُ توصياتٍ محرَّجةً للنظام، كأن توصي عضواً في الهيئة التدريسية بكتابٍ تمهيدي من سلسلة كتب "للأغبياء" (for dummies) في موضوعٍ هو خبيرٌ فيه. أو تستمر في التوصية بعناصرٍ لم يعد المستعمل يهتمُّ بها. تُحفِّز أوجه القصور من هذا القبيل الأبحاث المستمرة في كلِّ من الصناعة والأوساط الأكاديمية، وتُعدُّ نُظْمُ التوصية مجالَ بحثٍ نشطٍ جداً حالياً. لكي نفهم أحدث ما توصل إليه العلم في مجال نُظْمُ التوصية، تبدأ هذه المقالة بشيءٍ من التاريخ، لتبلغ ذروتها عند تحديّ المليون دولار لشركة Netflix. أدّى ذلك التحديّ إلى صياغة مسألة التوصية باعتبارها واحدةً من مسائل إتمام المصفوفة: إذا كان لدينا مصفوفة المستعملين بحسب العناصر، والخلايا فيها تُمثِّل ترتيبات العناصر، فكم هي جودة خوارزمية معطاة على التنبؤ بالقيم في بعض الخلايا التي بقيت خارج المصفوفة عمداً؟ مع ذلك، فإن أكثر الخوارزميات دقةً في مهمة إتمام المصفوفة ليست كافيةً لتقديم أفضل التوصيات في العديد من الحالات العملية. سوف نوضح سبب ذلك، ونستعرض بعض المنهجيات التي تعتمد عليها الأبحاث الحالية لتحسين أدائها، ونرسم أخيراً طرقَ مقارنةٍ لمسألة التوصية بأسلوبٍ أكثر شموليةً في المستقبل.

## لمحة تاريخية

ساهم العديد من المجالات في بحوث نُظْمُ التوصية، ويشمل ذلك نُظْمُ المعلومات، واستحضار المعلومات (IR) (information retrieval)، والتعلُّم الآلي (ML) (machine learning)، والتفاعل بين الإنسان والحاسوب (HCI) (human-computer interaction)، وحتى التخصصات الهندسية الأبعد مثل التسويق والفيزياء. ونقطة الانطلاق المشتركة هي أن التوصيات يجب أن تكون شخصيةً أو متكيفةً مع حالة المستعمل، وأن يحصل الأشخاص المختلفون عادةً على عناصر مقترحة مختلفة. يقتضي ذلك الاحتفاظ بشيءٍ من تاريخ المستعمل أو بنموذجٍ من اهتماماته.

بناءً ملامح المستعمل: جنور ترشيح المعلومات. يمكن في العديد من المجالات التطبيقية، في توصيات الأخبار مثلاً، اعتبار نُظْمُ التوصية نُظْمُ ترشيح معلومات (IF) (information filtering) تقليدية تسمح الوثائق النصية وترشيحها اعتماداً على تفضيلات المستعمل أو اهتماماته. تُرجع فكرة استعمال الحاسوب - لترشيح دقيقٍ واردٍ من المعلومات تبعاً لتفضيلات المستعمل - إلى الستينيات من القرن الماضي، عندما نُشرت الأفكار الأولى تحت مصطلح "النشر الانتقائي للمعلومات"<sup>17</sup> (selective dissemination of information). استعملت النُظْمُ المُبكرة كلماتٍ مفتاحية صريحة يقدِّمها المستعملون لتصنيف (to rank) الوثائق وترشيحها، بالاعتماد مثلاً على عدِّ تراكم الكلمات المفتاحية. ولاحقاً، جرى تطبيق تقنياتٍ أكثر نضجاً، مثل مُتَّجِهَات المصطلح المُثَقَّلَة (weighted term vectors) (مثلاً متجهات TF-IDF)<sup>2</sup>، أو طرائق تحليل وثائق أكثر تعقيداً مثل الفهرسة بالدلالة الكامنة (LSI) (latent semantic indexing) لتمثيل الوثائق، مع تخزين التمثيلات الموافقة لاهتمامات المستعمل باعتبارها نماذج مستعمل. تُسمى نُظْمُ التوصية التي تعتمد على هذه التقنيات عادةً منهجيات "الترشيح المُعتمَد على المحتوى" (content-based filtering).

<sup>2</sup> في مجال استحضار المعلومات: TF-IDF هو مختصر للكلمات term frequency-inverse document frequency يُمثِّل إحصاءً عددياً يُقصد منه تبيان مدى أهمية كلمةٍ في وثيقة في مَكْتَب (corpus) أو مجموعة وثائق (collection). (المترجم)

دعم آراء الآخرين. في بدايات عام 1982، اشتكى بيتر دينينغ (Peter J. Denning) رئيس ACM من "الرسائل الإلكترونية المتروكة junk" ودعا إلى تطوير نُظْمٍ أكثر ذكاءً تساعد على تنظيم دقائق المعلومات الواردة وتحديد أولوياتها وترشيحها.<sup>8</sup> تضمن أحد مقترحاته فكرة استعمال "سلطات موثوقة" (trusted authorities) لتقويم جودة الوثائق؛ بحيث يقرأ المتلقون الوثائق التي تفوق جودتها مستوى محدداً. في عام 1987، اقترح نظام معالجة البريد الشخصي "عدسة المعلومات" (Information Lens)<sup>25</sup>. اعتمد النظام أساساً على قواعد ترشيح مُعَرَّفَةٍ يدوياً، لكن المؤلفين طرحوا سلفاً نظاماً يمكن فيه لمُتلقي البريد الإلكتروني أن يعتمدوا أشخاصاً آخرين يُقدِّرون آراءهم. وأنداك حدّد عدد الاعتمادات وقوتها أولوية الرسائل الواردة. واتخذ في نظام ترشيح الرسائل الإلكترونية Tapestry في شركة Xerox PARC<sup>14</sup> ما يشابه منهجية استعمال قواعد يُحددها المستعمل. وأدخل في نظام Tapestry أيضاً فكرة إمكان أن يُصنّف (أو يُقيّم to rate) بعض القراء الرسائل، وأن يستطيع قراءة آخرون النفاذ إلى هذه المعلومات، والتي سُمّيت "الترشيح التعاوني" (collaborative filtering) (CF).

في عام 1994، عرض رسنيك وآخرون<sup>33</sup> نظام GroupLens، الذي تابع أفكار النظام Tapestry وأدخل مكوّنات جديدة للنظام يُسمى "Better Bit Bureau"، للتنبؤات المؤتمتة عن العناصر التي يرغب فيها الناس اعتماداً على مخطط "أقرب جار". وطوّرت فرقٌ بحثيةٌ أخرى تعمل على نحوٍ مستقل أفكاراً مشابهة.<sup>8 و36</sup> كانت الفكرة سائدة أن آراء الأشخاص الآخرين موردٌ قيّمٌ، وكان السباق قائماً لتحويل الفكرة إلى نتائج عملية.

إنها تلقى النجاح في التجارة الإلكترونية! في عام 1999، بعد خمس سنوات فقط من طرح طرائق الترشيح التعاوني الأولى، أوردَ شافر (Shafer) وآخرون<sup>35</sup> تطبيقاتٍ صناعية عديدة لتقانة نُظْمِ التوصية في التجارة الإلكترونية؛ تتضمن على سبيل المثال، توصية كتبٍ أو أفلامٍ أو موسيقا. وأشيرَ إلى شركة أمازون Amazon.com كواحدةٍ من أول الشركات التي اعتمدت نُظْمَ التوصية. وفي عام 2003، أفاد ليندن (Linden) وآخرون<sup>23</sup> أنه كان لاستعمال أمازون تقنيات الترشيح التعاوني من عنصر إلى عنصر (item-to-item) بصفتها أداة تسويقٍ مستهدفةٍ أثرٌ هائلٌ في تجارتها من حيث معدلات نقر التثبيت (click-through)<sup>3</sup> والتحويل (conversion). وفي نفس التقرير، جرى نقاش العديد من التحديات في البيئات العملية، وعلى وجه الخصوص مسألة قابلية التصدّد (scalability) والحاجة إلى إنشاء توصيات في الزمن الحقيقي.

مسألة إتمام المصفوفة. في ذلك الوقت، طوّر مجتمع البحث بعض المفاهيم والمصطلحات القياسية. العنصر الأساسي هو مصفوفة ترتيب (rating) عناصر المستعملين، كما هو موضح في الجزء العلوي من الشريط الجانبي المرافق، وفيها تُمثّل الصفوفُ المستعملين، وتُمثّل الأعمدةُ العناصر، وتُمثّل كل خليةٍ تفضيلَ المستعمل الشخصي لعنصر، ويُحدّد اعتماداً على إفادةٍ صريحةٍ (مثلاً، عدد نجومٍ من 1 إلى 5) أو اعتماداً على سلوك المستعمل (مثلاً، النقر، أو الشراء، أو قضاء الوقت على العنصر).

إن مصفوفة عناصر المستعملين مخلخلة (sparse) عموماً؛ لم يتفاعل معظم المستعملين مع معظم العناصر. من ثمّ، فإن إحدى صيغ مسألة التوصية هي مسألة التنبؤ بقيم الخلايا المفقودة، وبعبارةٍ أخرى، كيفية تقدير المستعملين لرتبة العناصر التي لم يُقدِّروا ترتيبها (rating) بعد؟

كان من الطبيعي، مع تلك الصياغة، تطبيق تقنيات التعلم الآلي وتكييفها من حالات مسألةٍ أخرى، وتشمل الأشكال المختلفة للحشد (clustering)، أو التصنيف، أو الانكفاء (regression)، أو تفكيك (decomposition) قيمة فريدة

<sup>3</sup> في التسويق على الإنترنت، معدل نقر التثبيت هو نسبة عدد النقرات التي يتلقاها المعلنون على إعلاناتهم إلى عدد مشاهدتها. (المترجم)

(singular).<sup>3,4</sup> وبناءً على ذلك، اعتمد المجتمع (community) مقاييس تقييم من حقلي استحضر المعلومات (IR) والتعلم الآلي (ML)، مثل قياس الدقة/الاستدكار (recall) وقياس جذر متوسط مربع الخطأ (root mean squared error) (RMSE). تحجب تقنيات التقييم هذه بعض قيم الترتيب المعروفة، وتستعمل الخوارزمية للتنبؤ بقيم ترتيب تلك الخلايا، ثم تقارن القيم المتنبأ بها بالقيم المحجوبة. ومكّن توفر بعض مجموعات معطيات الترتيب الشائعة، التي يوزعها البائعون والمشاريع البحثية، الباحثين من إجراء منافساتٍ شبيهة بمنافسات أفضل خيار (bake-offs)<sup>4</sup> لمقارنة أداء خوارزميات بديلة لملء المصفوفة فيما بينها.

جائزة *Netflix*. زادت شركة *Netflix*، التي رأت القيمة الاستراتيجية في تحسين توصياتها، من زخم إجرائية المنافسة (bake-off) حول خوارزميات إتمام المصفوفة في العام 2006. فعرضت جائزة قدرها مليون دولار، ومجموعة معطيات للتدريب، وبنية أساسية لاختبار الخوارزميات على معطيات محجوبة (withheld). شملت مجموعة معطيات التدريب 100 مليون ترتيب حقيقي للزبائن. وحُصِّصت الجائزة لأول خوارزمية تتفوق على نظام *Netflix* المصنوع محلياً (in-house) بمقدار 10% من قيمة جذر متوسط مربع الخطأ (RMSE) (انظر الشريط الجانبي). وكان الاهتمام بهذه المسابقة كبيراً جداً. فقد سجّل أكثر من خمسة آلاف فريقٍ في المسابقة، ومُنِحَت الجائزة أخيراً في عام 2009. لقد أُحرز تقدّم كبير فيما يخص تطبيق منهجيات التعلم الآلي في مهمة تنبؤ الترتيب. فعلى الخصوص، جرى تطوير أشكالٍ مختلفة من تحليل المصفوفة إلى عوامل (factorization)، إضافةً إلى مجموعة من تقنيات التعلم أثناء المسابقة، وثبتت أنها ناجحة نجاحاً باهراً.

### ما بعد إتمام المصفوفة

في ختام مسابقة جائزة *Netflix*، ربما كان من المعقول الاعتقاد أن نُظْمُ التوصية غدت مسألةً محلولة. ففي النهاية، وقّف العديد من الباحثين الموهوبين جداً أنفسهم، مدةً طويلة، لتحسين التنبؤ بالترتيبات المحجوبة (withheld ratings). بدت عوائد هذا الجهد تتضاءل بسرعةٍ كبيرة، إذ إنّ التحسينات النهائية الصغيرة التي كانت كافيةً لكسب الجائزة، جاءت من ضمّ جهود متنافسين مستقلين كثر.

مع ذلك، تبيّن أن نُظْمُ التوصية بعيدةً عن أن تكون مسألةً محلولة. هنا أولاً، سنضرب أمثلةً لسبب كون استمثال دقة التنبؤ بالترتيبات التاريخية المحجوبة (held out)<sup>5</sup> غير كافٍ أو مُضللاً. بعد ذلك، نناقش عوامل جودة منتقاة لنُظْمِ التوصية لا تشملها مهمة إتمام المصفوفة البتة، ونضرب أمثلةً لبحثٍ حديثٍ يذهب أبعد من إتمام المصفوفة.

**مزالق إعدادات إتمام المصفوفة.** التنبؤ اللاحق (Postdiction) لا يساوي التنبؤ (prediction). إن التنبؤ بالمداخل المحجوبة (held-out) في المصفوفة هو في الحقيقة تنبؤ بالماضي بدلاً من المستقبل. إذا كانت مداخل الترتيبات المحجوبة ممثلةً لمداخل الترتيبات المخفية، فعندها لا يهم التمييز. لكن، في كثيرٍ من حالات التوصية لا تكون الترتيبات المحجوبة ممثلةً للترتيبات المفقودة.

يعود أحد أسباب ذلك إلى أن الترتيبات المفقودة هي ليست عموماً مفقودة على نحوٍ عشوائي. فحتى العناصر التي جرّبها الناس، إذا تطّلب الترتيب أي جهدٍ إن وُجِدَ، فإنهم على الأرجح يرتّبون العناصر التي يحبونها أو يكرهونها، بدلاً من تلك التي تنقصهم الحماسة تجاهها. وفضلاً على ذلك، يميل الناس على الأرجح لتجريب العناصر التي يتوقعون أنها تعجبهم.

<sup>4</sup> bake-off هي عملية بحثية أو برهان مفهوم تُقارَن فيها تقاناتٌ متنافسة، لانتقاء أحسن منتج أو خدمة. (المترجم)

<sup>5</sup> مجموعة فرعية من معطيات التدريب حُجبت من إجرائية التقييم الأولية. (المترجم)

## التوصية كإتمام مصفوفة

- مسألة التوصية باعتبارها مسألة إتمام مصفوفة كالذي جرى في جائزة Netflix.
1. لدينا مصفوفة مخلّلة  $M$ ، نولّد مصفوفة  $M'$  بإخفاء مجموعة فرعية  $H$  من الترتيبات المعلومة عشوائياً.
  2. نتنبأ بالقيم  $(H^*)$  للترتيبات المخفية باستعمال المصفوفة  $M'$ .
  3. نقيّم الفرق بين الترتيبات الحقيقية والمُنتبأ بها، باستعمال جذر متوسط مربع الخطأ (RMSE).
- RMSE: إذا علمنا متجهة التنبؤات  $H^*$  وطولها  $n$  والمتجهة التي تحوي القيم الحقيقية  $H$ ، نحسب RMSE من العلاقة:

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i^* - H_i)^2}$$

M	Users/Items	I1	I2	I3	....	I100000
U1		4	3			2
U2			2	5		
U3		3	5			2
...						
U10000		2	2	5		

x الترتيبات المعلومة  
الترتيبات المفقودة

M'	Users/Items	I1	I2	I3	....	I100000
U1		4	3			2
U2			2	?		
U3		3	5			?
...						
U10000		2	?	5		

x الترتيبات المعلومة  
الترتيبات المفقودة  
الترتيبات المحجوبة

H

تقنيات شائعة. إن الهدف من تقنيات تحليل المصفوفة إلى عوامل (*factorization*) في نظام التوصية هو تحديد تقريب منخفض التصنيف (*low-rank approximation*) لمصفوفة الترتيبات المستعمل/العنصر (*user-item rating*) بتفكيكها إلى جداء مصفوفتين (مستعمل وعنصر) أصغر أبعاداً (عوامل كامنة (*latent factors*)).

تقوم فكرة طرائق المجموعة (*ensemble methods*) على دمج نماذج تعلم آلي بديلة متعددة للحصول على تنبؤات أكثر دقة.

فمثلاً، في إحدى الدراسات التجريبية، وجد الباحثون أن ترتيبات الأغاني التي أُسندت عشوائياً للمستخدمين، كان لها توزيع مختلف جداً عن تقديرات الأغاني التي اختارها المستعملون أنفسهم لإعطاء ترتيب لها<sup>26</sup>.

بالنتيجة، يمكن للخوارزميات التي تنتبأ جيداً بالترتيبات المحجوبة التي يُقدّمها المستعملون، أن تنتبأ تنبؤاً سيئاً بمجموعة عشوائية من العناصر التي لم يُعطِ المستعملون ترتيباً لها بعد. قد يعني ذلك أن الخوارزميات، المولّفة لكي تؤدي أداءً جيداً في حالة ترتيبات سابقة، ليست هي أفضل خوارزميات التوصية في العالم الحقيقي<sup>7</sup>.

إضافة إلى ذلك، إعداد مسألة إتمام المصفوفة ليس ملائماً لتقدير قيم العناصر التي يتذكرها المستعملون الذين اشتروها سلفاً أو استهلكوها في الماضي. مع ذلك، قد تكون مثل هذه التوصيات المُكرّرة من الوظائف المرغوبة في نظام التوصية، على سبيل المثال، في مجالات مثل توصية الموسيقى أو توصية المواد الاستهلاكية.

في الخاتمة، ساهم إعدادُ التقييم المعياري (standardized) وتوفرُ مجموعاتٍ معطياتٍ عامةٍ للترتيبات، في جعل التركيز على قياسات الدقة وإعداد إتمام المصفوفة جذاباً للباحثين، ولربما أغراهم بالابتعاد عن استقصاء قيمة موارد المعلومات الأخرى، والطرق البديلة لتقييم فائدة التوصيات.

في الوقت الحاضر، يسعى عددٌ متنامٍ من الدراسات الأكاديمية لتقييم أداء طرائقها باستعمال الاختبارات  $A/B$  على زبائن مباشرين في حالات صناعية حقيقية (مثلاً، داياس وآخرون (Dias et al.)<sup>9</sup>، وغارسن وآخرون (Garcin et al.)<sup>12</sup> وغورغوليون وآخرون (Gorgoglione et al.)<sup>16</sup>). إن هذا التوجه إيجابيٌ جداً، ويتطلب تعاوناً من بائع تجاري قد لا يوافق على جعل المعطيات متاحةً للعامة، مما يجعل من الصعب على الآخرين تدقيق النتائج أو إعادة إنتاجها. ليست كل العناصر والأخطاء متساويةً في الأهمية. يُنقلُ جذرُ متوسط مربع الخطأ (RMSE)، وهو مقياس التقييم المُستعمل في جائزة Netflix، أخطاءً التنبؤ بالتساوي لجميع العناصر. لكن، في معظم الحالات العملية، لا تُظهِر العناصر التي ترتيبها المتوقع منخفضاً للمستعملين أبداً، لذلك، يكاد لا يهم أن يكون التنبؤ الصحيح لتلك العناصر 1 أو 2 أو 3 نجوم. إن استمثال معيار ترتيب (ranking) يركّزُ بداهةً على أن تكون العناصر ذات الترتيب الأعلى صحيحةً، هو ملاءمٌ أكثر في هذه المجالات.

في السنوات الأخيرة، أُقترح عددٌ من المنهجيات لتعلم كيفية الترتيب (learning-to rank) في الأدبيات لمعالجة هذه المسألة، والغرض منها استمثال وكلاء (proxies) الإجراءات المُعتمدة على الترتيب (rank-based). وعند تطبيق إجراءات استحضار المعلومات (IR) كهذه في مجال التوصية، تبقى المشكلة قائمةً وهي أن "الحقيقة الأساسية" (ground truth) (أي كون عنصرٍ ذا أهمية فعلاً عند المستعمل أم غير مهم) تنطبق على جزءٍ يسير فقط من العناصر. يمكن أن تتعلق نتائج تقييم تجريبي بكيفية معالجة العناصر ذات الحقيقة الأساسية المجهولة عند تحديد مقاييس (metrics) الدقة. وإضافةً إلى ذلك، فإن مشكلة العناصر غير المقفولة عشوائياً، موجودةٌ أيضاً في منهجيات تعلم كيفية الترتيب (learning-to-rank)، ويُبدى بعضها على الأقل انحيازاً شديداً لتوصية الأشياء الرائجة (blockbusters) للجميع، وهذا قد يكون ذا قيمةٍ قليلةٍ للمستعملين.<sup>19</sup>

في بعض المجالات، مثل توصية الموسيقى، من المهم أيضاً تحاشي التوصيات "السيئة" جداً لأنها يمكن أن تؤثر كثيراً في إدراك المستعمل للجودة.<sup>216</sup> إن حذف بعض التوصيات "الجيدة" ليس ضاراً جداً تقريباً، مما يُحاجُّ به لتصميم خوارزميات تتحاشى المخاطر وتوصي غالباً بعناصر لها متوسط ترتيب مرتفع وتشتت (variance) ترتيبٍ منخفض. إلا أن التوصية بمثل هذه العناصر المرغوبة عموماً وغير المثيرة للجدل فقط، قد لا يكون مفيداً خصوصاً لبعض المستعملين.

**عوامل جودة النظام ما بعد الدقة.** من دون شك، دَفَعَت جائزة Netflix بتركيزها على الدقة بحوثَ نُظْمِ التوصية إلى الأمام. مع ذلك، أيضاً عَظُمَ جزئياً على العديد من التحديات الهامة الأخرى عند بناء نظام توصية، واليوم حتى Netflix تُصرِّحُ أن "هناك طرقاً أفضل بكثير لمساعدة الناس على العثور على الفيديوهات التي يريدون مشاهدتها، بدلاً من التركيز فقط على تلك التي لها أعلى ترتيب نجمي متوقع<sup>15</sup>. لاحقاً، سنضرب أمثلةً لعوامل الجودة غير عامل دقة العنصر المنفرد (single-item)، ونراجع كيفية مقارنة البحوث الحديثة لهذه المسائل، ورسم مخطط للتحديات المفتوحة.

<sup>6</sup> تقنية إحصائية يجري فيها مقارنة نسختين من صفحة وب لمعرفة أيهما أحسن أداءً. (المترجم)

<sup>7</sup> مصطلح يستعمل في مجالات متعددة للدلالة على المعلومات التي نحصل عليها بالمراقبة المباشرة على عكس تلك التي نحصل عليها بالاستدلال. في مجال التعلم الآلي، يدل المصطلح على دقة تصنيف تقنيات التعلم بإشراف (supervised learning) لمجموعة معطيات التدريب. (المترجم)

الحدائق والتنوع ومكونات النفعية الأخرى (utility). إن تحقيق تنبؤات ترتيب جيدة للعناصر التي لم تُرتب بعد ليس هو الهدف النهائي غالباً. إن الهدف الحقيقي لتقديم التوصيات هو بالواقع تركيب (combination) ما لقيمة معينة للمستهلك وريح للموقع. ففي بعض المجالات، يمكن أن تُمثل ترتيبات المستهلك تقيماً عاماً للجودة، ومع ذلك فهي لا تقتضي أنه يجب التوصية بالعنصر. فمثلاً، لندرس مسألة التوصية بالمطاعم للمسافرين. قد يعطي معظم الناس الذين يتناولون العشاء في مطعم في تصنيف ميشلين (Michelin)<sup>8</sup>، خمس نجوم لهذا المطعم، ولكن التوصية بمثل هذا المطعم قد تزعج المسافرين المحدود الميزانية<sup>9</sup> (budget travelers). بالنتيجة، جُرب بعض الباحثين التوصية اعتماداً على نموذج أكثر شمولية للنفعية. في حالة المسافر المحدود الميزانية، قد تزداد تلك النفعية أو "القيمة الاقتصادية" بزيادة الترتيب المتنبأ به ولكنها تتناقص مع التكلفة.<sup>13</sup> لذلك، فإن التنبؤ بمقدار إعجاب مستعمل بعنصر مُعطى على النحو الذي جرى في جائزة Netflix قد لا يكون كافياً في العديد من المجالات. غالباً ما تكون المسألة في الواقع متمثلة في التنبؤ الإضافي بالنفعية المفترضة التي ستجلبها التوصية للمستهلك.

إن الحدائق وعدم البدهة في عنصر ما، مثلاً، عاملان قد يؤثران في نفعية التوصية بالعنصر. فاقترح شراء الخبز أو الزبدة في محل بقالة بديهي، ولن يُولد على الأرجح مبيعات إضافية. بالمثل، فإن التوصية بسلسلة من الأفلام التي أعجبت المستهلك كثيراً وسيشاهدها في كل الأحوال، أو بأغانٍ للمغني المفضل للمستهلك لن تساعد المستهلك على اكتشاف أشياء جديدة.

في العديد من المجالات، لا يوجد معنى بالتأكيد لتقييم نفعية توصية منفردة، ولكن بالضرورة لمجموعة من التوصيات. ففي مجال الأفلام، عندما تتضمن قائمة التوصية أحد أفلام هاري بوتر (Harry Potter)، تقلّ القيمة التي تقدمها أفلام إضافية لهاري بوتر. ولهذا انتقلت مقاييس الجودة كالحداثة والتنوع وعدم التوقع إلى بؤرة اهتمام الباحثين في السنوات الأخيرة.<sup>5</sup> مع إحراز بعض التقدم الملموس خلال السنوات القليلة الماضية، وازدياد إدراك الباحثين لكون الدقة على الأرجح ليست كافية، ما زال هناك عددٌ من المسائل المفتوحة. فمثلاً، ليس من الواضح غالباً أن تكون سمة جودة معينة، مثل الحدائق، مرغوباً فيها فعلاً في تطبيق معين لمستهلك معين، ولأي مدى. بالمثل، يمكن أن يكون التنوع المفرط ضاراً بتجربة المستهلك أحياناً. يمكن أن يكون إيجاد الخطة الصحيحة من العناصر الحديثة والمألوفة تحدياً، وسنحتاج إلى مزيدٍ من البحث لفهم أفضل متطلبات مجال معين وعوامل النجاح فيه.

وهناك مسألة أخرى، وهي أن ترتيب قوة عوامل الجودة كالتنوع، المعتمدة على تجارب مفصولة عن الشبكة (offline) هو قضية إشكالية. جرى اقتراح مقاييس كالتنوع ضمن القائمة (intra-list-diversity)، في الأدبيات، ولكن من غير الواضح حتى الآن مدى ارتباط هذه المقاييس الموضوعية بفهم إدراك المستهلك للتنوع.

عموماً، تُركّز الأدبيات على فائدة التوصيات من منظور المستهلك النهائي. مع ذلك، يُحاول مُزوّد خدمات التوصية في كثيرٍ من الأحيان استئصال خوارزمياتهم اعتماداً على الاختبارات A/B مستعملين مقاييس متباينة جداً، تشمل أحجام المبيعات أو أسعار صرف العملات أو النشاط على المنصة، أو الولاء المستدام للزبائن المُتمثل في تكرار زيارة العملاء أو

<sup>8</sup> نجوم ميشلين (Michelin stars) هي نظام تصنيف يستعمله دليل ميشلين الأحمر (red Michelin guide) لتصنيف المطاعم حسب جودتها. (المترجم)

<sup>9</sup> المسافر المحدود الميزانية (budget traveler) يمكن أن يقيم في أماكن إقامة أو فنادق اقتصادية، ويأكل وجبات رخيصة ويسافر في الطائرات خارج مواسم الذروة. (المترجم)

تجديد اشتراكاتهم. تتغير هذه المقاييس كثيراً من شركة أعمال إلى أخرى، وحتى إنها أحياناً تتغير مع الزمن، عندما تتغير أهمية مؤشرات الأداء الرئيسية المختلفة مع الزمن.

السياق مهم. حتى لو كنا نعرف عموماً كيفية تقييم نفعية عنصر لمستعمل، فقد تكون هذه الفائدة غير مستقرة ومرتبطة بالسياق الحالي للمستعمل. لنفترض، مثلاً، أننا بنينا نظامَ توصيةٍ للمطاعم وقمنا بكل شيء بالشكل الصحيح حتى الآن، وأن خوارزمتنا جيدة في مطابقة تفضيلات المستعملين، وأن التوصيات ذاتها خاطئة جيدة من الخيارات المألوفة والجديدة، إضافةً إلى الخيارات المعهودة والإرشادات الداخلية (insider tips). لا يزال من الممكن أن يُنظر إلى التوصيات على أنها رديئة. قد تكون التوصية بمطعمٍ في مناخٍ شمالي (northern climate) يُقدّم طعاماً وأجواءً داخليةً مقبولةً وفناءً في الهواء الطلق استثنائياً يطل على الميناء، توصيةً جيدةً على الأرجح، ولكن حين تكون زيارة المطعم في فصل الصيف فقط. من المؤسف ألا تأخذ تقنيات الترشيح التعاوني التقليدية بالحسبان مثل هذه النواحي الزمنية. لذلك، في العديد من المجالات، يتطلب الأمر خوارزمياتٍ تعي السياق (context-aware)، لأنها قادرةٌ على تغيير توصياتها تبعاً للعوامل السياقية (contextual) مثل الزمن أو المكان أو المزاج أو حضور أشخاصٍ آخرين.

خلال العقد المنصرم، جرى تطوير عددٍ من مقدرات التوصية التي تعي السياق في الوسط الأكاديمي وطُبقت على مجموعة متنوعة من الحالات التطبيقية، شملت تطبيقات الأفلام والمطاعم والموسيقى والسفرات والهاتف الجوال<sup>2</sup>. تقوم استراتيجيات التكيف مع السياق النموذجية على ترشيح العناصر القابلة للتوصية قبل تطبيق خوارزمية لا تعي السياق أو بعد تطبيقها، وذلك لتجميع الترتيبات المتعددة للعنصر نفسه في حالات سياقية مختلفة، أو لتصميم تقنيات توصيةٍ تُحلل معلومات السياق إلى نماذج التعلم الآلي الموافقة لها.

حالياً، أصبح الوعي للسياق (contextualization) أيضاً سمةً شائعةً في التطبيقات الحقيقية. فمثلاً، العديد من مواقع الموسيقى في الوب، مثل Spotify، يسأل المستمعين عن مزاجهم الراهن أو يُكَيِّف التوصية تبعاً لوقت الاستماع في اليوم. تتفحص مواقع التسوق الموصولة بالشبكة (online) أحدث سلوك لتجول (navigation) زائريها وتستدل على أهداف تسويقهم في الأمد القصير. في النهاية، تُشكّل نُظْمُ توصية الجولات حالةً خاصةً من نُظْمِ التوصية التي تعي السياق، بسبب توفر عددٍ متزايدٍ أكثر فأكثر من المعلومات القادمة من المُحِسَّات (sensors)، مثل المعلومات المتعلقة بمكان المستعمل والوقت المحلي لديه.

من منظورٍ بحثي، يُعدُّ السياق مفهوماً متعدد الأوجه (multifaceted)، جرت دراسته في مختلف التخصصات الهندسية البحثية. وخلال السنوات العشر الماضية، حصل تطورٌ كبير أيضاً في مجال نُظْمِ التوصية التي تعي السياق، ونُشِرت أولُ التقييمات المُقارَنة ومجموعاتٍ معطياتٍ قياس الأداء<sup>31</sup>. ومع ذلك، يلزم عملٌ أكبر بكثيرٍ لفهم هذا المفهوم المتعدد الأوجه فهماً كاملاً، وللمضي إلى ما هو أبعد مما يُسمى المنهج المُمَثِّل (representational) الذي يُبرز مجموعةً ثابتةً ومُعرَفةً سابقاً خاصةً بها من واصفاتٍ (attributes) قابلة للبرصد.

التفاعل مع المستعملين. نعد إلى نظام توصية المطاعم الذي ذكرناه سابقاً، ولنفترض أننا وسّعنا قدراته وأنه يأخذ الآن بالحسبان الوقت المحلي للمستعمل وموقعه الجغرافي عندما يقوم بالتوصيات. لكن ماذا يحصل إذا كان المستعمل - بخلاف تفضيلاته السابقة - في حالةٍ مزاجية تدفعه لتجريب شيءٍ مختلف، مثلاً، مطعمٍ نباتيٍّ؟ كيف يمكنه أن يُخبر النظام؟ وإذا لم يعجبه المطعم بعد ذلك فكيف سيُعلم النظام ألا يوصي بالمطاعم النباتية مرةً أخرى في المستقبل؟

في العديد من المجالات التطبيقية، يجب استنباط التفضيلات القصيرة الأمد، فالتوصية لا يمكن أن تكون عمليةً تقوم بها مرةً واحدة (one-shot process) لتحديد وتقديم قائمةٍ مرتَّبةٍ من العناصر. وبدلاً من ذلك، يمكن أن تكون الأشكال المختلفة من تفاعلات المستعمل مطلوبةً أو مفيدةً لجعل المستعمل في حالة السيطرة. نذكر من الأمثلة على أشكال التفاعل النموذجية، الإجراءات التفاعلية لاستنباط التفضيلات، وإجراءات التهذيب (refinement)، أو تقديم الشروح والحجج المُقنعة، أو تقديم الآليات التي تساعد المستعملين على استكشاف فضاء الخيارات المتاحة. يمكن أن يكون تصميم تجربة المستعمل والوسائل المُقدَّمة للتفاعل مع النظام عاملاً أساسياً للجودة لنجاح خدمة التوصية.

في أدبيات البحث، جرى اقتراح نُظْمُ توصيةٍ حوارية (conversational) لاستنباط تفضيلات المستعمل بطريقةٍ تفاعلية والانخراط في دورة "اقترح، أعط تغذية راجعة وراجع" مع المستعملين.<sup>37</sup> وقد استُعملت هذه النُظْمُ في مجالاتٍ يواجه الزبائن فيها بقراراتٍ شراءٍ عالية الانخراط (high involvement buying)، مثل الخدمات المالية، أو العقارات، أو السياحة. تستعمل معظم المنهجيات حواراتٍ معتمدة على استمارات لجعل المستعمل يختار من بين خياراتٍ محدَّدةٍ سابقاً، أو تستعمل تقنيات معالجة اللغة الطبيعية لتُمَاشي دخل المستعمل في نصِّ حرٍّ أو شفهيّاً. وثمة منهجياتٍ بديلةٍ حديثةٍ أيضاً تشمل طرقاً أكثر عاطفيةً للتعبير عن التفضيلات، مثلاً، بالاعتماد على مُجسَّاتٍ إضافيةٍ لتحديد الحالة العاطفية للمستعمل، أو بدعمٍ طرقٍ بديلةٍ لدخول المستعمل كالانتقاء من مجموعةٍ صورٍ.<sup>30</sup> فضلاً على ذلك، يُمثِّل دمجُ وظائفٍ توصيةٍ أفضل في مساعدات (assistants) افتراضيةٍ مُتَحَكِّمٌ بها بالصوت، مثل Siri من شركة أبل (Apple)، مساراً واعداً آخر للاستكشاف من قبل المجتمع البحثي لنُظْمِ التوصية.

تقوم إحدى الأفكار الرئيسية في النُظْمِ الحوارية على أنه يمكن ألا يستوعب المستعملون بدايةً فضاء العناصر المتاحة، ومن ثَمَّ، لا يكون لديهم تفضيلات واضحة المعالم يمكن التعبير عنها بدلالة واصفات العناصر. يمكن لنظام توصيةٍ تفاعلي أو معتمد على الإظهار (visualization) أن يساعد المستعملين على استكشاف فضاء العناصر، ويكشف تفضيلاتهم للنظام تدريجياً. مثلاً، تدفع الواجهات التخابطية المعتمدة على النقد (critiquing-based) المستعملين للقول "أرني مطاعم أكثر تشبه المطعم A، ولكن أرخص منه." ومع أن هذه المنهجيات لاقت اهتماماً كبيراً في البحث، فإنها ليست بعدُ التيار الرئيسي (mainstream) في الواقع العملي.<sup>27</sup>

عموماً، في النُظْمِ التفاعلية لم يعد تحدي التصميم يتعلق بمجرد اختيار العناصر التي يُوصى بها، ولكن أيضاً باختبار تتالي من النقالات الحوارية كما اقترح محمود وآخرون (Mahmood et al.)<sup>24</sup> الذين طوَّروا نظاماً توصيةً حوارياً تكيفياً لمجال السياحة.

مقاومة التلاعب. بالمضي قدماً انطلاقاً من مسائلٍ مُحدَّدةٍ في كيفية تحصيل التفضيلات والخوارزميات التي استُعملت في نظامنا الخاص بتوصية المطاعم، قد يبرز السؤال الآتي: هل نستطيع الوثوق بأن تكون ترتيبات المجتمع صادقةً ونزيهةً؟ يمكن للأطراف المهتمة أن تتلاعب بخرج نظام التوصية لمصلحتها، مثلاً، بتوليد ملامح وترتيبات مزيفة. على الأمد البعيد، سيفقد الزبائن الذين خُدعوا بمثل هذه المراجعات المزيفة ثقتهم بالتوصيات التي يقدمها النظام، وفي أسوأ الحالات سيفقدون ثقتهم بالخدمة على الشبكة ككل. من ثَمَّ، قد يكون التكيف (resilience) في وجه هذه التلاعبات أمراً حاسماً لنجاح النظام على الأمد البعيد.

قُدِّمت أبحاثٌ كثيرة في مقاومة التلاعب، حيث تُعرَّف المقاومة بمهاجمين لديهم قدرةٌ محدودةٌ فقط على تغيير تنبؤات الترتيب التي نُقِّدت. تُحدِّد معظم هذه الأبحاث استراتيجيات هجومٍ نموذجي (archetypal)، وتُقدِّم طرقاً لكشفها وتدابير

مضادة لها. فمثلاً، يولد هجومُ "الشلن" (shilling) الواحد أو "حقن الملامح" (profile injection) ملامحَ لمستعملين مزيفين، بحيث ينتج ترتيبات للعديد من العناصر قريبةً من المتوسط الإجمالي لكل المستعملين. بعد ذلك، يُعطي هؤلاء المستعملون المزيّفون أعلى (أو أدنى) الترتيبات للعناصر التي جرى التلاعب بها.<sup>22</sup> حدّد هذا الخط من البحث خوارزميات مقاومةٍ إلى حدٍّ ما لاستراتيجيات هجومٍ معينة.<sup>29</sup>

في بحثٍ حديث، استُعملت المراجعات النصية التي قدّمها مستعملون على منصات مثل TripAdvisor، بدلاً من الترتيبات الرقمية أو بالاشتراك معها لفهم تفضيلات المستعمل البعيدة الأمد. لا تُحمل هذه المراجعات النصية معلوماتٍ أكثر تفصيلاً من مجرد الترتيبات فقط، ولكن يمكنها أيضاً أن تخضع لتحليلٍ آليٍّ لكشف المداخل (entries) المزيفة.<sup>20</sup> ويرى البحث أن نسبة المداخل المُتلاعب بها قد تكون كبيرةً في بعض المجالات.

عموماً، لمقاومة التلاعب، تأخذ الخوارزميات تدابيرٍ مضادة تتجاهل أو تُخفّف التأثير المُعطى للترتيبات أو المراجعات التي يُشبّه في استحقاقها. إلا أن هذا يؤدي إلى التخلي عن بعض المعلومات الجيدة. وهناك حدٌّ أدنى للمعلومات الجيدة التي يجب تجاهلها في أية محاولةٍ لتفادي الهجمات بوسائلٍ إحصائية تقوم على ملاحظة الأنماط الشاذة.<sup>34</sup> ولا يبدو أن هناك حلاً سهلاً لهذه المسألة، إلا إذا كان بالإمكان منع المهاجمين من الحقن بالملامح المزيفة.

*الثقة والولاء.* مقاومة التلاعب ليست المطّلب الوحيد لبناء نظامٍ جديرٍ بالثقة. لنُعد إلى نظام توصية المطاعم الخاص بنا، ولنفترض أن مستعملنا قرّر في نهاية المطاف أن يُجرّب إحدى توصياتنا. عندها نكون، من وجهة نظر المزوّد، قد نجحنا في توجيه السلوك القصير الأمد للمستعمل. ولكن، ماذا لو كان المستعمل غير راضٍ بعد ذلك عن اختياره، وخصوصاً إذا شعر أن توصيتنا كانت منحازةً وليست موضوعيةً؟

بالنتيجة، يمكن ألا يثق المستعمل بالخدمة مستقبلاً، وقد يجري تجاهل حتى أكثر التوصيات ذات الصلة. وفي أسوأ الحالات، يمكن حتى أن يفقد الثقة بكفاءة مزوّد الخدمة ونزاهته.<sup>6</sup> إذ إنّ أحد عوامل الجودة الهامة لنظام التوصية أن يكون قادراً على بناء الولاء البعيد الأمد عن طريق التجارب الإيجابية المتكررة.

في حالات التجارة الإلكترونية، يمكن أن يفترض المستعملون بحقٍ أن الاعتبارات الاقتصادية قد تؤثر في ما هو موضوعٌ في قائمة التوصيات، ويمكن أن يقلقوا من أن ما يُقترح ليس مثالياً لهم حقاً، بل مثاليٌّ للبائع. لذلك، فإن الشفافية عاملٌ مهم، وقد تبين أنه يؤثر إيجاباً في ثقة المستعمل بالنظام: ما هي المعطيات التي تأخذها نُظْمُ التوصية بالحسبان؟ كيف توصل المعطيات إلى التوصيات؟ تُركّز التفاسيرُ الاهتمام على تقديم معلوماتٍ إضافيةٍ للإجابة عن هذه الأسئلة وتبرير التوصيات المُقترحة.

في أدبيات البحث، جرى استكشاف عددٍ من استراتيجيات التفسير خلال السنوات العشر الماضية، ويعتمد العديد منها على استراتيجيات "الصندوق الأبيض" (white box) التي تعرض كيفية اشتقاق النظام للتوصيات.<sup>11</sup> مع ذلك، ما زال هناك العديد من التحدّيات المفتوحة. أحدها كيفية تفسير التوصيات التي تولّدها نماذج التعلّم الآلي المعقد. وتحدّ آخر هو كيفية الاستفادة من المعلومات الإضافية، مثل محفوظات التصفح أو البيان الاجتماعي للمستعمل (social graph)<sup>10</sup> لجعل التوصيات تبدو معقولةً أو مألوفةً أكثر للمستعمل.<sup>32</sup>

<sup>10</sup> البيان الاجتماعي في مجال الإنترنت هو بيانٌ يصور العلاقات الشخصية لمستعملي الإنترنت. باختصار، هو نموذجٌ أو تمثيلٌ للشبكة الاجتماعية، وقد استعيرت كلمة بيان من نظرية البيان. (المترجم)

## من الخوارزميات إلى النُظْم

تشير دراستنا المسحية المختصرة لتاريخ المجال إلى أن نُظْمُ التَّوَصِيَةِ وصلت إلى الطريق الرئيسي (main street) باهتمامٍ واسعٍ من الصناعة ومجتمعٍ بحثيٍ نشِطٍ. فضلاً على ذلك، رأينا أن مجتمع نُظْمِ التَّوَصِيَةِ يُعالج مجموعةً من المواضيع تتجاوز التنبؤ بالترتيب وتصنيف (ranking) العناصر، مثلاً، ما يخص واجهة مستعمل النظام أو التأثيرات البعيدة الأمد.

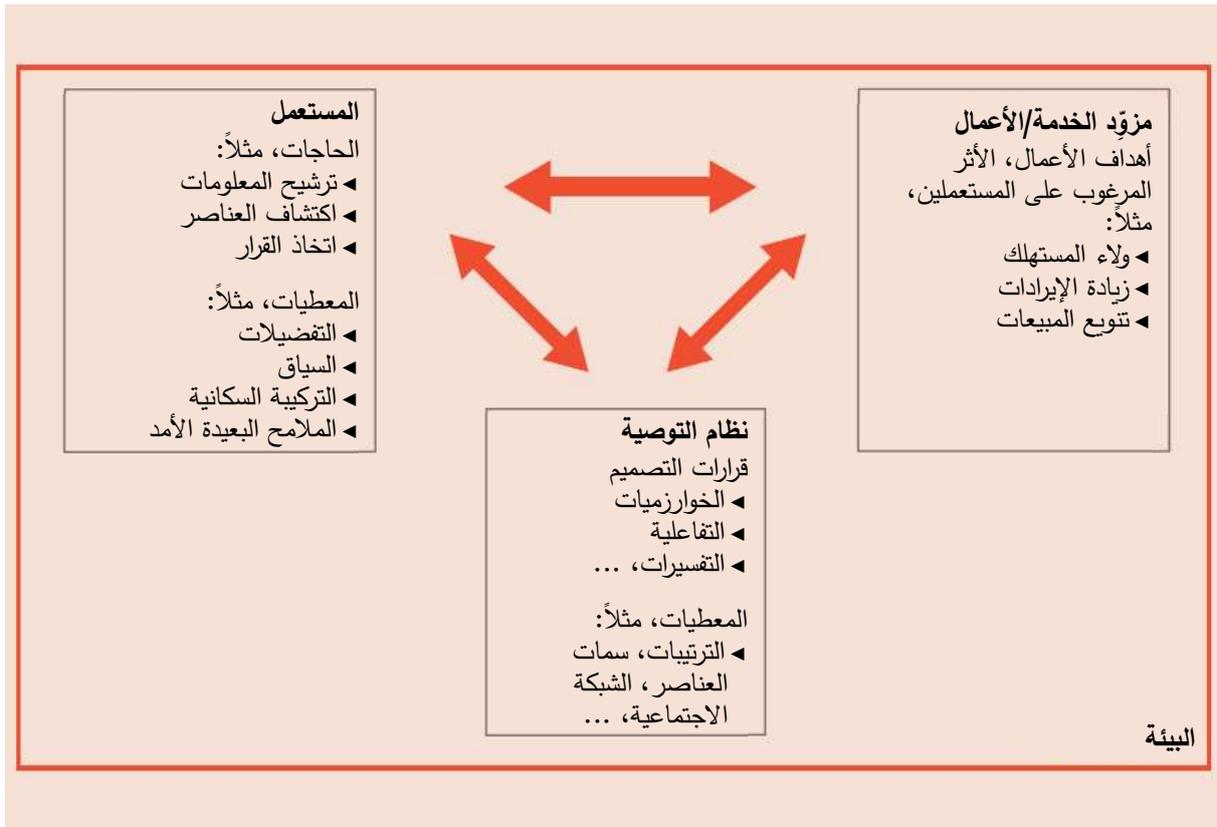
**ما بعد منظور علم الحاسوب.** يُركِّز العديد من المُقترحات التي ناقشناها سابقاً على الجوانب الخوارزمية، مثلاً، كيفية دمج معلومات السياق مع منهجيات إتمام المصفوفة، أو كيفية إيجاد العناصر "الأغنى بالمعلومات" (informative) التي يجب أن نطلب من المستعمل ترتيبها، أو كيفية تصميم خوارزميات تُوازِنُ بين التنوع والدقة بأمثل طريقة. لا يزال مجتمع بحث نُظْمِ التَّوَصِيَةِ، كما يُتَّهم في Wagstaff<sup>38</sup> لمجتمع التعلُّم الآلي، يركِّز أكثر من اللازم على مجموعاتٍ معطياتٍ قياس الأداء ومقاييس الأداء المُجرَّدة (abstract performance metrics). وبقطع النظر عن كون التحسينات التي سيقَّت هامةً فعلياً أم لا في العالم الحقيقي في مجالاتٍ تطبيقيةٍ معيَّنة، وفي حاجات المستعملين - فمثلاً، هل يبحث المستعملون فعلياً بغية اكتشاف عناصر جديدة، أم أنهم يبحثون أكثر عن نفس العنصر بهدف المقارنة؟ - من النادر أن يُطرح هذا السؤال.

بسبب الأهمية العملية العالية لنُظْمِ التَّوَصِيَةِ فإنها بطبيعة الحال، مجالٌ بحثيٌ في تخصصاتٍ هندسيةٍ غير علم الحاسوب، ويشمل ذلك نُظْمِ المعلومات (IS) والتجارة الإلكترونية وبحوث المستهلك أو التسويق. هناك أعمالٌ بحثيةٌ كعمل Xiao and Benbasat<sup>39</sup>، طورت نموذجاً مفاهيمياً (conceptual) مستقيماً لمميزات واستخدام وأثر "وكلاء التَّوَصِيَةِ" (recommendation agents) للتجارة الإلكترونية، لكنها بقيت غير ملحوظة إلى حدٍ بعيد في أدبيات علم الحاسوب. طوَّر المؤلفان في عملهما ثمانية وعشرين مقترحاً تتمحور حول سؤالين لهما صلةٌ عمليةٌ بمجالات التجارة الإلكترونية، وهما: كيف يمكن أن تساعد نُظْمُ التَّوَصِيَةِ على تحسين إجراءات اتخاذ المستعمل للقرار وتحسين جودة القرار؟ وما هي العوامل التي تؤثر في اعتماد المستعمل للنظام وفي الثقة به؟ إنَّ إجراءات توليد التوصيات فعلياً - وهي مركز الاهتمام في مجال علم الحاسوب - مهمةٌ بالتأكيد، ولكنها وحده فقط من العوامل العديدة التي تساهم في نجاح نظام توصية ما.

لذلك، يجب أن يُنظر إلى أسئلة البحث في سياق نُظْمِ التَّوَصِيَةِ من منظورٍ أكثر شموليةً كما يبين المخطط في الشكل 1. كلما طُرحت مقترحات تقانية جديدة، وجب علينا أن نتساءل عن الحاجات أو المُتطلبات الخاصة التي نعالجها في مجالٍ معين. فقد يكون اتخاذ قراراتٍ شراءٍ أفضل، أحد الحاجات من منظور المستعمل؛ وقد يكون إرشاد المستهلكين إلى قطعٍ أخرى من طيف المنتجات ذا أثرٍ مرغوبٍ فيه من جهة المُزوِّد. ووفقاً لذلك، تُحدِّد هذه الأهداف مقياس التقييم المُختار لتقييم فعالية المنهجية.

في نهاية المطاف، يمكن أن تكون أهداف نظام التوصية متنوعةً جداً، بدءاً من تحسين صنع القرار فيما يخص ترشيح (filtering) العناصر واكتشافها، إلى زيادة تحوُّل، أو التزام المستعمل بالمنصة. إن مقاييس الدقة المستقلة عن المجال (domain-independent) والمُجرَّدة، كما تُستعمل غالباً في وقتنا الحاضر، غير كافيةً عادةً لتقييم القيمة الحقيقية للتقنيات الجديدة.<sup>15</sup>

إن التركيز على المقاييس النفعية والتجارية التوجه (business- and utility- oriented) ومراعاة جوانب الحدائث والتنوع والمصادفة (serendipity) للتوصيات - على النحو الذي ناقشناه سابقاً - هي خطواتٌ مهمة في ذلك الاتجاه. على كل حال، يجب دائماً تبرير المقاييس التي جرى اختيارها فعلياً للتقييم، بالأهداف المُحدَّدة التي يجب أن يُحققها النظام.



الشكل 1. نظرة أكثر شمولية على نظام التوصية.

فضلاً على ذلك، في التجريب غير الموصول بالشبكة، تُمَثَّل مخططات التقييم المتعددة المقياس (multi-metric)، والمقاييس المُختصة بالتطبيق، ومراعاة انحيازات التوصية طريقةً لتقييم آثار نظام التوصية المرغوبة وغير المرغوبة الكامنة في مستعمليه.<sup>19</sup>

مع ذلك، كي نفهم فعالية نظام التوصية وأثره في مستعمليه فهما أفضل، نحتاج عموماً، إلى المزيد من البحوث المتمركزة حول المستعمل (user-centric) وبنوعية التوجه (utility-oriented) في مجتمع علم الحاسوب، ويجب ربط الأعمال الخوارزمية ربطاً أفضل بالرؤى الموجودة فعلياً من المجالات المجاورة.

إعادة المستعمل إلى الحلقة. عادةً ما يكون نظام التوصية مُكوّناً ضمن تطبيقٍ تفاعلي. إن أدنى مستوى للتفاعل يُقدّمه مثل هذا المُكوّن هو عَرْض قائمة توصيات يمكن للمستعمل أن يختار منها للفحص أو للاستهلاك الفوري، مثلاً، على منصات دفق الوسائط المتعددة (media streaming platforms).

يعود أحد جذور نُظْم التوصية إلى مجال تفاعل الإنسان مع الحاسوب (HCI) (human-computer interaction) وتصميم واجهة المستعمل، وإن اختيار أشكال التفاعل المدعومة، أو اختيار المحتوى المُعدّل للإظهار، كلاهما له أثرٌ في نجاح نظام التوصية. مع ذلك، فإن كمية الأبحاث المُختصة لهذه الأسئلة قليلة نسبياً، وخصوصاً عند مقارنتها بالكمية الهائلة للأبحاث المُختصة لخوارزميات تصنيف العناصر.

لذلك، فإن اعتقادنا الثاني هو أن على مجتمع علم الحاسوب أن يبذل جهوداً إضافية على منظور تفاعل الإنسان مع الحاسوب لنُظْمِ التَّوَصِيَةِ، كما جرى الدعوة له سابقاً، مثلاً، في Konstan and Riedl<sup>21</sup> و McNee et al.<sup>28</sup>. تعتمد البحوث الحالية إلى حدٍ بعيدٍ على الترتيب الصريح وأفعال المستعمل التي يمكن مراقبتها ألياً - وتُسمى غالباً تغذية راجعة ضمنية (implicit feedback) - كمؤشراتٍ للتفضيل. يسمح العديد من نُظْمِ العالم الحقيقي للمستعملين بتحديد تفضيلاتهم صراحةً، مثلاً، من حيث فئات العناصر المُفضَّلة. يُمكن أن تكون مكوّنات التَّوَصِيَةِ في مواقع الويب أكثر تفاعليةً بكثير، وأن تقوم مثلاً، في مجال التجارة الإلكترونية، بدور "مستشارين افتراضيين"<sup>39</sup> (virtual advisers) وممثلين اجتماعيين يطرحون الأسئلة، ويُكَيِّفون تواصلهم مع المستعمل الحالي، ويقدمون تفسيراتهم عند الطلب، ويعرضون مقترحات تسوقٍ بديلةٍ أو متممةٍ، وعموماً يُمكنون المستعمل من السيطرة أكثر، ويتيحون أنواعاً جديدةً من التفاعلات.

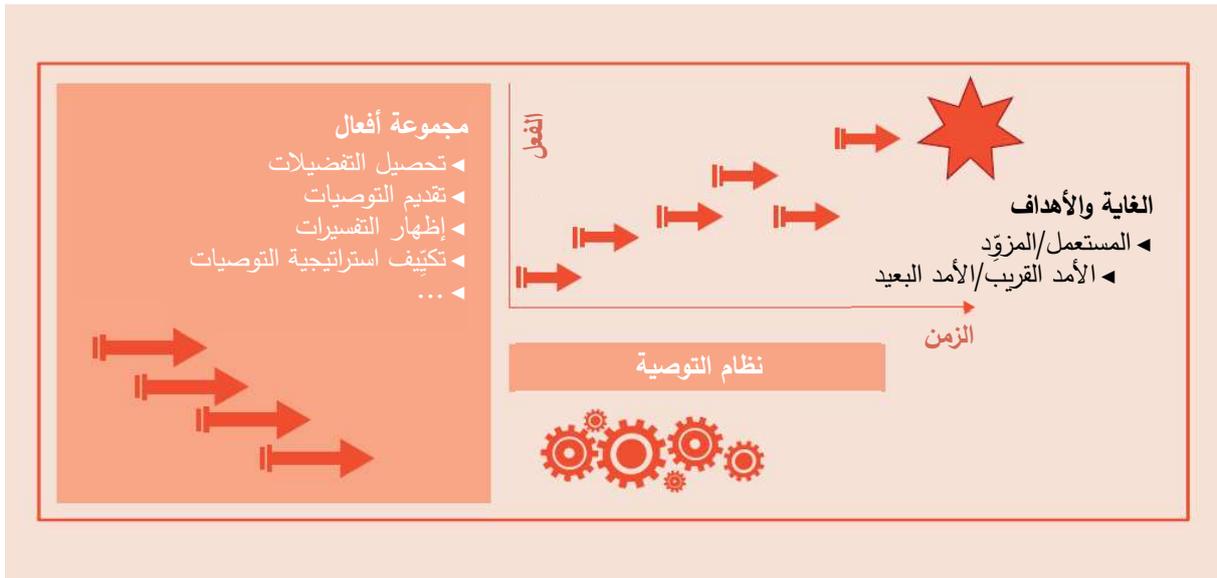
عند النظر إلى التَّوَصِيَاتِ التي تُقدِّمها شركة أمازون (amazon.com) في مواقعها على الويب، يمكننا أن نرى أن هناك أشكالاً مختلفةً من تفاعل المستعمل موجودةً بالفعل، ولكنها غير مستكشفة كما يجب في الأوساط الأكاديمية. فمثلاً، تقدم شركة أمازون قوائم توصية متعددة على صفحاتها المقصودة (landing page)<sup>11</sup>. يوفّر نظامٌ أمازون أيضاً تفسيراتٍ للتوصيات المُقدَّمة، حتى أنه يتيح للمستعمل أن يدلّ النظام بشأن إجراءٍ سابقٍ له لاحظته النظام (على سبيل المثال، شراء): يُحتفظ النظام بذلك الإجراء أم لا في عملية التَّوَصِيَةِ. مع ذلك، هناك العديد من الأسئلة لم تستكشف إلى حدٍ بعيدٍ، مثل كيف نُصمِّم مثل هذه العناصر التفاعلية بأفضل طريقة ممكنة، أو ما هو أكبر حِمْلٍ معرفي يمكن أن يتقبَّله المستعمل، أو كيف يمكن للنظام تحفيز الناس أو إقناعهم بالقيام ببعض الأعمال.

وإضافةً إلى ذلك، في حال كون النظام يدعم الأشكال المختلفة للتفاعلية وقادراً في الوقت نفسه على تحصيل معلوماتٍ إضافيةٍ من المستعمل، تبرز تحدياتٍ خوارزمية وحسابية إضافية. يمكن لنظامٍ ذكي مثلاً، أن يتخذ قراره عند النقلة الجوارية المقبلة، أو أن يُظهر تفسيراً أو لا، تبعاً لتقدير الحالة الراهنة للتفاعل أو لخبرة المستعمل وقدراته الترتيبية. اقترحت بعض المنهجيات في هذا الاتجاه في الأدبيات سابقاً، ولكنها غالباً ما تكون على حساب التكلفة المرتفعة على صعيد هندسة المعرفة (knowledge engineering)، وقد تبدو سكونيةً (static) تماماً إذا لم يكن له بها قدرات تعلُّمٍ مُضمَّنة<sup>10 و24</sup>.

أخيراً، أصبحت التجهيزات المتنقلة واللبوسة المساعدات الرقمية الشخصية حالياً. ومع التطورات الأخيرة في تعرّف الكلام، والتفاعلات المعتمدة على الإيماءات (gesture-based)، والمُحسَّات المتعددة الإضافية في التجهيزات، برزت فرصٌ جديدة فيما يخص كيفية تفاعلنا مع نُظْمِ التَّوَصِيَةِ.

**نحو توصيفٍ أكثر شموليةً لمهمة التَّوَصِيَةِ.** في أدبيات البحث، هناك تعريفٌ لمسألة التَّوَصِيَةِ يُستشهد به غالباً، وهو إيجاد دالةٍ خرُجها درجة الصلة (relevance score) لكل عنصرٍ اعتماداً على معلومات ملامح المستعمل وحالته السياقية (contextual situation)، ومعلومات "محتوى" (content) عن العناصر، ومعلومات عن أنماط التفضيلات في مجتمع المستعمل.<sup>1</sup> ومع أن تطوير تقنياتٍ أفضل بدرجةٍ أعلى لاختيار العنصر وتصنيفه سيبقى في لبّ مسألة البحث، فإن النقاشات هنا تدلُّ على قصور هذا التعريف كثيراً. ولكي نختم اعتباراتنا المتعلقة بمنظور التفاعل بين الإنسان والحاسوب، بخصوص نُظْمِ التَّوَصِيَةِ، والاعتبار الشامل أكثر للتفاعل (interplay) بين المستعملين والمنظمات ونظام التَّوَصِيَةِ، فإننا نقترح توصيفاً جديداً لمسألة التَّوَصِيَةِ (الشكل 2).

<sup>11</sup> في مجال التسويق على شبكة الإنترنت، الصفحة المقصودة (landing page)، وتعرف أيضاً باسم lead capture page أوlander أو destination page، هي صفحة وب وحيدة تظهر استجابةً للنقر على نتيجة بحث أمثلية على محرك بحث أو إعلان عبر الإنترنت. (المترجم)



الشكل 2. توصيف جديد لمسألة التوصية.

توصيفٌ جديدٌ للمسألة. لمسألة التوصية المكونات الثلاثة الآتية: هدفٌ إجمالي يحكم اختيار العناصر وتصنيفها؛ ومجموعةٌ من الأفعال المتاحة تتمركز حول عرض العناصر الموصى بها؛ وإطارٌ زمني للاستمثال.

يُشكّل الهدفُ الإجمالي المقياسَ العملياتي أو مجموعةَ المقاييس التي ينبغي استمثالها بانتقاء وتصنيف ملائمين للعناصر من مجموعة (كبيرة). قد يكون استمثالٌ مقياسٍ تصنيفٍ مُحدّدٌ هو هذا الهدف، لكن قد يكون على القدر نفسه من الأهمية كلّ من الأهداف النفعية التوجّه أكثر، والمقاييس الموافقة لها، مثل رضا المستعمل، أو تقليل جهود اتخاذ القرار، أو الإيرادات، أو الولاء. وعموماً، يمكن استنباط الأهداف إما من منظور المستعمل، أو منظور المزود، أو كلاهما.

تتوفر مجموعةٌ من الأفعال، حسب مجال التطبيق، يمكن أن يقوم نظام التوصية بها. يتمثّل الفعل المركزي عادةً بانتقاء مجموعةٍ من العناصر وتقديمها. أمّا النقلات الإضافية الأخرى الممكنة فتتمثّل بتغيير استراتيجيته لتوصية العناصر، أو تقديم تفسيراتٍ مُحدّدة أو محتوى اتصالاتٍ (communication content) آخر، أو طلب تغذية راجعة أو أشكالٍ بديلة من دخل المستعمل. هذه النقلات الحوارية هي لبنات البناء (building blocks) لتحقيق الهدف. يمكن أن يكون انتقاء الفعل اللاحق الأكثر فائدةً وتوقيته نتيجةً لإجرائية المحاكمة نفسها.

يدلُّ الإطار الزمني أو أفق الاستمثال على النافذة الزمنية التي يجب استمثال الهدف في أثنائها. يُمكننا الاعتبار الصريح للبعد الزمني من التفريق بين تفاعلاتٍ منفردة منقّدة مرة واحدة (single one-shot) وتفاعلاتٍ أطول زمنياً يمكن أن تكون ذات صلةٍ أكثر للشركات والمستعملين.

في نهاية المطاف، يمكن تعريف مسألة التوصية على النحو الآتي: إيجاد متتاليةٍ من الأفعال الحوارية وتوصيات العنصر لكل مستعمل بعينه، التي تستمثال الهدف الإجمالي في الإطار الزمني المُحدّد.

## المُلخَص

أصبحت نُظْمُ التَّوَصِيَةِ جزءًا طبيعيًا من تجارب المستعمل في العالم الحالي الموصول على الشبكة. هذه النُظْمُ قادرةٌ على تقديم قيمةٍ لكلٍ من المستعملين والمزودين، وهي مثالٌ بارزٌ يكون فيه لنواتج البحث الأكاديمي أثرٌ مباشرٌ في التقدم في الصناعة.

راجعنا في هذه المقالة باختصارٍ تاريخ هذا المجال المتعدّد التخصصات الهندسية، وألقينا نظرةً على الجهود الحديثة في مجتمع البحث التي تدرس العوامل المختلفة التي يمكنها التأثير في النجاح البعيد الأمد لنظام التوصية. ما زالت قائمة المسائل المفتوحة وعوامل النجاح بعيدةً عن الاكتمال، وتُبرز تحدياتٍ جديدةً باستمرارٍ تتطلب المزيد من البحث. على سبيل المثال، إن الكميات الهائلة من معطيات المستعمل ومؤشرات التفضيل التي أصبحت متاحةً عبر الوب الاجتماعي وإنترنت الأشياء، لا تؤدي إلى تحديات تقنية فقط كقابلية التوسع (التصعدية) (scalability)، بل أيضاً إلى أسئلةٍ مجتمعيةٍ تتعلق بخصوصية المستعمل.

وبناءً على تأملاتنا بخصوص التطورات في هذا المجال، نؤكد في نهاية المطاف الحاجة إلى منهجية بحثٍ أكثر شموليةً تدمج الأفكار من التخصصات الهندسية المختلفة. ونحن نحثّ على أن تُركّز البحوث أكثر في المسائل العملية المهمة والمناسبة حقاً لزيادة نفعية التوصيات من وجهة نظر المستعملين.

## المراجع

- [1] Adomavicius, G. and Tuzhilin, A. Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering* 17, 6 (2005), 734–749.
- [2] Adomavicius, G. and Tuzhilin, A. Context-aware recommender systems. *Recommender Systems Handbook*. Springer, 2011, 217–253.
- [3] Billsus, D. and Pazzani, M.J. Learning collaborative information filters. In *Proceedings ICML '98* (1998), 46–54.
- [4] Breese, J.S., Heckerman, D. and Kadie, C.M. Empirical analysis of predictive algorithms for collaborative filtering. In *Proceedings UAI '98* (1998), 43–52.
- [5] Castells, P., Wang, J., Lara, R. and Zhang, D. Introduction to the special issue on diversity and discovery in recommender systems. *ACM Trans. Intell. Syst. Technology* 5, 4 (2014), 52:1–52:3.
- [6] Chau, P.Y.K., Ho, S.Y., Ho, K.K.W. and Yao, Y. Examining the effects of malfunctioning personalized services on online users' distrust and behaviors. *Decision Support Syst.* 56 (2013), 180–191.
- [7] Cremonesi, P., Garzotto, F. and Turrin, R. Investigating the persuasion potential of recommender systems from a quality perspective: An empirical study. *ACM Trans. Interact. Intell. Syst.* 2, 1 (2012), 11:1–11:41.
- [8] Denning, P.J. ACM president's letter: Electronic junk. *Commun. ACM* 25, 3 (Mar. 1982), 163–165.
- [9] Dias, M.B., Locher, D., Li, M., El-Dereby, W. and Lisboa, P.J. The value of personalised recommender systems to e-business: A case study. In *Proceedings RecSys '08* (2008), 291–294.
- [10] Felfernig, A., Friedrich, G., Jannach, D. and Zanker, M. An integrated environment for the development of knowledge-based recommender applications. *Int. J. Electron. Commerce* 11, 2 (2006), 11–34.
- [11] Friedrich, G. and Zanker, M. A taxonomy for generating explanations in recommender systems. *AI Magazine* 32, 3 (2011), 90–98.
- [12] Garcin, F., Faltings, B., Donatsch, O., Alazzawi, A., Bruttin, C. and Huber, A. Offline and online evaluation of news recommender systems at swissinfo.ch. In *Proceedings RecSys '14* (2014), 169–176.
- [13] Ghose, A., Ipeirotis, P.G. and Li, B. Designing ranking systems for hotels on travel search engines by mining user-generated and crowdsourced content. *Marketing Science* 31, 3 (2012), 493–520.
- [14] Goldberg, D., Nichols, D., Oki, B. and Terry, D. Using collaborative filtering to weave an information tapestry. *Commun. ACM* (1992), 61–70.

- [15] Gomez-Urbe, C.A. and Hunt, N. The Netflix Recommender System: Algorithms, business value, and innovation. *ACM Trans. Manage. Inf. Syst.* 6, 4 (2015), 13:1–13:19.
- [16] Gorgoglione, M., Panniello, U. and Tuzhilin, A. The effect of context-aware recommendations on customer purchasing behavior and trust. In *Proceedings RecSys '11* (2011), 85–92.
- [17] Hensley, C.B. Selective dissemination of information (SDI): State of the art in May, 1963. In *Proceedings of AFIPS '63* (Spring), 1963, 257–262.
- [18] Hill, W., Stead, L., Rosenstein, M. and Furnas, G. Recommending and evaluating choices in a virtual community of use. In *Proceedings CHI '95* (1995), 194–201.
- [19] Jannach, D., Lerche, L., Kamehkhosh, I. and Jugovac, M. What recommenders recommend: An analysis of recommendation biases and possible countermeasures. *User Modeling and User-Adapted Interaction* (2015), 25:1–65.
- [20] Jindal, N. and Liu, B. Opinion spam and analysis. In *Proceedings WSDM '08*, (2008), 219–230.
- [21] Konstan, J. and Riedl, J. Recommender systems: From algorithms to user experience. *User Modeling and User-Adapted Interaction* 22, 1-2 (2012), 101–123.
- [22] Lam, S.K. and Riedl, J. Shilling recommender systems for fun and profit. In *Proceedings of WWW '04*, (2004), 393–402.
- [23] Linden, G., Smith, B. and York, J. Amazon.com recommendations: Item-to-item collaborative filtering. *IEEE Internet Computing* 7, 1 (2003), 76–80.
- [24] Mahmood, T., Ricci, F. and Venturini, A. Improving recommendation effectiveness: Adapting a dialogue strategy in online travel planning. *J. of IT & Tourism* 11, 4 (2009), 285–302.
- [25] Malone, T.W., Grant, K.R., Turbak, F.A., Brobst, S.A. and Cohen, M.D. Intelligent information-sharing systems. *Commun. ACM* 30, 5 (May 1987), 390–402.
- [26] Marlin, B.M. and Zemel, R.S. Collaborative prediction and ranking with non-random missing data. In *Proceedings RecSys '09* (2009), 5–12.
- [27] McGinty, L. and Reilly, J. On the evolution of critiquing recommenders. *Recommender Systems Handbook*, Springer, 2011, 419–453.
- [28] McNee, S.M., Riedl, J. and Konstan, J.A. Being accurate is not enough: How accuracy metrics have hurt recommender systems. In *Proceedings CHI '06*, (2006), 1097–1101.
- [29] Mobasher, B., Burke, R., Bhaumik, R. and Williams, C. Toward trustworthy recommender systems: An analysis of attack models and algorithm robustness. *ACM Trans. Internet Technology* 7, 4 (Oct. 2007).
- [30] Neidhardt, J., Seyfang, L., Schuster, R. and Werthner, H. A picture-based approach to recommender systems. *J. of IT & Tourism* 15 (2015), 1–21.
- [31] Panniello, U., Tuzhilin, A. and Gorgoglione, M. Comparing context-aware recommender systems in terms of accuracy and diversity. *User Modeling and User-Adapted Interaction* 24, 1-2 (2014), 35–65.
- [32] Papadimitriou, A., Symeonidis, P. and Manolopoulos, Y. A generalized taxonomy of explanations styles for traditional and social recommender systems. *Data Min. Knowl. Discovery* 24, 3 (2012), 555–583.
- [33] Resnick, P., Iacovou, N., Suchak, M., Bergstrom, P. and Riedl, J. Grouplens: An open architecture for collaborative filtering of netnews. In *Proceedings of CSCW '94* (1994), 175–186.
- [34] Resnick, P. and Sami, R. The information cost of manipulation-resistance in recommender systems. In *Proceedings RecSys '08* (2008), 147–154.
- [35] Schafer, J.B., Konstan, J. and Riedl, J. Recommender systems in e-commerce. In *Proceedings ACM EC '99* (1999), 158–166.
- [36] Shardanand, U. and Maes, P. Social information filtering: Algorithms for automating “word of mouth.” In *Proceedings CHI '95* (1995), 210–217.
- [37] Shimazu, H. Expertclerk: Navigating shoppers’ buying process with the combination of asking and proposing. In *Proceedings IJCAI '01* (2001), 1443–1448.
- [38] Wagstaff, K. Machine learning that matters. In *Proceedings ICML* (2012), 529–536.
- [39] Xiao, B. and Benbasat, I. E-commerce product recommendation agents: Use, characteristics, and impact. *MIS Q.* 31, 1 (Mar. 2007), 137–209.

# مستقبل إنترنت الأشياء

## THE FUTURE OF THE INTERNET OF THINGS\*

Ulf Lindqvist, Peter G. Neumann

ترجمة: د. رضوان قسطنطين

مراجعة: د. أديب بطح

يمكن لإنترنت الأشياء أن تصبح واسعة الانتشار في أرجاء العالم - إذا كان السعي لتحقيق الجدارة الشاملة يمكن أن يتغلب على المخاطر المحتملة.

مثلما اقترحنا في الأعداد السابقة، في زاوية المخاطر الداخلية ("موضوع مخاطر الأتمتة" في عدد ACM تشرين الأول لعام 2016)، إنترنت الأشياء لها القدرة على تضمين وتشكيل مجموعة هائلة من التجهيزات المتصلة فيما بينها - ويشمل ذلك التطبيقات المنزلية والمرافق، والأجهزة القابلة للارتداء، والمنازل ومباني الشركات، والعمليات الصناعية، والتجهيزات الطبية، وأجهزة تطبيق سلطة القانون، والمعدات العسكرية، وغيرها من التطبيقات المرتبطة التي قد لا يكون بوسعنا تخيلها اليوم. في السياق الحالي، "الأشياء" ببساطة هي تلك الأجهزة المحوسبة والمُشَبَّكة التي أصبحت جزءاً من إنترنت الأشياء. يمكن النفاذ إلى بعض هذه الأشياء مباشرة من خلال الإنترنت، في حين يُفترض أن أشياء أخرى مخفية ضمن شبكات محلية، وراء الجدران النارية ومسيرات ترجمة عنوان الشبكة.

يوجد فعلياً العديد من المخاطر المرافقة بوضوح لإنترنت الأشياء. بعض هذه المخاطر قديم ومعروف، ولكنه تقاوم بسبب الحجم غير المسبوق لإنترنت الأشياء؛ وتشير التقديرات في السنوات القليلة القادمة إلى عشرات البلايين من الأشياء. يمكن أن توجد مخاطر أخرى جديدة، تتبع من طبيعة كيفية تصميم هذه الأشياء، وكيفية استعمالها، وكيفية نشرها وإدارتها (أو عدم إدارتها)، وكيف ستؤثر قوى السوق في تطورها. في هذه الزاوية، نسلط الضوء على بعض هذه المخاطر وعلى ما يمكن أن نحتاج إلى حدوثه إذا أردنا لإنترنت الأشياء أن تأتينا بالمنافع التي نتصورها لها - بمستوى معقول من الجدارة بالثقة. ما نقصده برسالتنا هذه هو دعوة لإيقاظ خبراء الحاسوب، ولكنها هامة أيضاً لكل شخص معني كمستعمل.

الأمن والخصوصية فانقا الأهمية لإنترنت الأشياء، لأن النتائج المُحتمَلة للهجمات الناجحة يمكن أن تؤثر في حياة البشر وسلامتهم، وأن تتسبب بالموت والدمار - على نحو مباشر أو غير مباشر. يمكن أن تشكل انتهاكات الخصوصية، التي تسمح للمجرمين باستغلال معلومات عن الضحايا المحتملين، تهديداتٍ للسلامة أيضاً.

### أشياء تتحول إلى شريرة

برهن هجوم حديث، من نمط رفض الخدمة الموزعة DDoS، مدى انتشار نقاط ضعف إنترنت الأشياء، الذي ما زال في

\* تُشير هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 60، العدد 2، شباط (فبراير) 2017، الصفحات 26 - 30.

بداياته. وجرى اختراق الكثير من التجهيزات، منها كمرات التلفزة ذات الدارة المغلقة، وصناديق تثبيت الكبال<sup>1</sup>، ومسجلات فيديو رقمية، واستعمالها كزومبي شبكة الروبوت<sup>2</sup> من دون قصد.

استعمل هذا الحدث البارز، البرمجية الخبيثة Mirai التي تبحث عن الضحايا الضعفاء، وتُشر الرماز المصدري لهذه البرمجية مجاناً. باستهداف خدمات نظام أسماء النطاقات (DNS) التي تزودها شركة Dyn، تداخل هذا الهجوم بصورة خطيرة مع نفاذ المستثمر إلى خدمات رئيسة مثل تويتر (Twitter) وأمازون (Amazon) و Tumblr و Reddit و Spotify و Netflix. وفي انقضاضة واحدة، كشف عن طرف واحد فقط من الجبال الجليدية الخطيرة. وفي حين استغلت هجمات رفض الخدمة الموزعة (DDoS) السابقة التي تعتمد على Miari مئات آلاف التجهيزات، فإن هذا الهجوم استعمل عشرات الملايين من التجهيزات المخترقة، بحسب تصريح شركة Dyn. بين هذا الهجوم بعض المخاطر المرافقة لوجود عدد كبير من الأشياء غير المحمية حمايةً مناسبة، والمتصلة بشبكة الإنترنت، لا سيما الأشياء البسيطة إلى حدّ تكون فيه عرضةً للاختراق، ولكنها قادرة إلى حدّ يكفي أن تكون جزءاً من هجوم موزع يغرق مواقع الضحايا بطلبات تبدو شرعية. لاحظ أن مالكي التجهيزات أو مستعملها، في غالب الأحيان، لا يعلمون أن تجهيزاتهم تُستعمل لمهاجمة نظم أخرى.

### نقاط الضعف

إن الكثير من هذه التجهيزات، وضوحاً ساهم من دون قصد في هجوم رفض الخدمة الموزعة (DDoS)، لم تكن فعلياً وراء أي نوع من الجدران النارية، أو كانت تكويناتها الخاصة بجدران النار ضعيفة وجرى استغلالها بسهولة. إضافة إلى ذلك، فإن بعض الأشياء التي أصابها Miari كانت نفسها مسيرات من نوع مكاتب صغيرة أو مكاتب منزلية. وفي حين استعملت Maria كلمات السر الثابتة في خدمات Telnet/SSH التي لا يمكن للمستعملين تعطيلها، فإن من الغباء وضع كل اللوم على أي وصلة ضعيفة، في الوقت الذي يكون فيه كل شيء تقريباً هو وصلة ضعيفة ممكنة.

حالياً، من المحتمل أن يكون كل نظام مُحوسب قد تعرّض للخطر سابقاً، أو أيضاً أُسيء استعماله بسهولة. لدينا ضعفٌ في العمق والسعة، وليست القوة في العمق. لذلك، يجب السيطرة على الكثير من المشاكل لجعل إنترنت الأشياء قابلاً للتطبيق. سندرس بعضاً من هذه المشاكل ومعالجاتها الممكنة. في النهاية، نحن نحتاج إلى منظور نظام شامل يشير إلى نقاط الضعف الممكنة في التجهيزات، وأمن جدران الحماية المزعومة، والوصلات الشبكية والخدمات السحابية (بعضها غير معروف حتى من المستعملين)، ومن الإنترنت نفسها، إضافة إلى مستعملها ومخالفها المحتملين. إن إنترنت الأشياء ليس كياناً بحد ذاته، إنه يشمل كل هذه الكيانات، ويعتمد حتماً عليها.

نقترح أن يكون هذا المسلسل من التجهيزات الخبيثة الجديدة التي تهاجم بطريقة رفض الخدمة الموزعة (DDoS) مجرد نذير بأحداث ستأتي. ستكون مخاطر إنترنت الأشياء منتشرة في المستقبل، ومنها التنازلات الممكنة للمتطلبات المتعلقة ببناء الثقة. يجب أن تشير هذه المتطلبات إلى مواضيع الشبكات الواسعة مثل: أمان البشر وأمنهم وموثوقيتهم ومناعتها ومرونتهم

<sup>1</sup> cable set-top box تجهيزة تتضمن جزء توليف تلفاز وخرجاً يمكن أن يوصل إلى شاشة تلفاز أو منبع إشارة خارجي، بحيث يحول الإشارة الخارجية إلى محتوى يعرض على الشاشة. (المترجم)

<sup>2</sup> botnet zombie شبكة الروبوت أو البوت نت، وهي مجموعة من التجهيزات الموصولة إلى الإنترنت (يمكن أن يصل عددها إلى الآلاف أو الملايين) المصابة بفيروس يفرض سيادة المخترق التامة أو الجزئية عليها دون علم صاحب الجهاز والذي يكون في هذه الحالة ضحية و يسمى ب zombie (أنه يصبح بمثابة جسد بلا عقل) في حين يسمى المخترق المتحكم بالبوت نت ب bot master. (المترجم).

وتفاعلهم الوظيفي وسلاسة التصيب والاستعمال على نحو لا يضاهاى، والتعافي السريع المؤتمت من الأخطاء الخطيرة، والخصوصية الشخصية والمؤسسية والرفاهية البشرية وأشياء أخرى كثيرة.

### بعض مخاطر إنترنت الأشياء التوضيحية

إن هجومات رفض الخدمة مؤذية، إلا أنّ إمكان تدمير الأشياء من بُعد بسبب التلاعب الاعتباطي يجب أن يُعتبر مُهدِّداً بوجه خاص. فيما يلي بعض الأمثلة على مجالات التطبيق التي يجلب فيها إنترنت الأشياء مخاطر كامنة:

- تميل المشافي ومؤسسات العناية الصحية إلى استعمال تجهيزات هي الآن أشياء يُتحكَّم فيها أو يمكن النفاذ إليها من بُعد: شاشات مراقبة المرضى، وأجهزة مسح الجسم، ومنظمات ضربات القلب وتجهيزات وقف رجفان القلب، ومضخات السوائل والتغذية الكهربائية الرئيسية والمساعدة والإضاءة وأجهزة التكييف وغيرها الكثير.
- تستعمل قطاعات البنى الأساسية المهمة، مثل الطاقة الكهربائية والنفط والغاز الطبيعي والصناعة والنقل تجهيزات إنترنت الأشياء كمحسّات ومفعلات للأتمتة والمراقبة والتحكم من بُعد. يمكن النفاذ إلى المتحكّمات نفسها من الإنترنت.
- يجب اعتبار السيارات الذاتية القيادة التي تجري مساعدتها بتقنيات الأتمتة المرتبطة فيما بينها، "أشياء"، لا سيما على الطرق السريعة المؤتمتة في المستقبل. تظهر العروض الحديثة لإمكان تولّي التحكم من بُعد بالعربات المهمة، بعضاً من هذه المخاطر [5].

يمكن أن تكون تجهيزات إنترنت الأشياء، على عكس الحواسيب للاستعمال العام، مرتبطة على نحو لصيق أكثر بالعالم المادي. وفي حين كانت لدينا حالات قليلة نسبياً، حتى الآن، أُحدث فيها التدمير المادي عمداً باختراق الحواسيب، فإن هذا الأمر يشكل خطراً مقلّماً جداً في حالة إنترنت الأشياء.

من حالات البرامج المعروفة، في ستينيات القرن الماضي، جعل أذرع الأقراص الصلبة تتسبّب في التدمير الذاتي للسواقات، إلى هجوم Stuxnet الذي ظهر بين عامي 2007 و 2010، الذي يبدو أنه جرى تصميمه لتعطيل أجهزة الطرد المركزي لتخصيب اليورانيوم (ويبدو جرى التصريح عن نجاح هذا الهجوم)، استعملت الهجمات المادية السبرانية نقاط الضعف التي كانت سمات وليست أعطالاً. وإضافةً إلى الأشياء التي تتحكم في القواطع والصمامات والمحركات فإن أشياء لها بطاريات لها إمكانات أن تتسبب، من بُعد، لبعض التجهيزات بارتفاع كبير لحرارتها بقدر كافٍ لتتسبب في حريق أو انفجار. إذا أمكن السيطرة على العربات أو التجهيزات الطبية من بُعد، من قبل مهاجمين شريرين؛ فيمكن يتأذى الناس أو يُقتلوا بسبب شخص يضغط زرّاً من مكان ما على الإنترنت. إن التلاعب بالمحسّات أو إدخال معلومات خاطئة يمكن أن يتسبب، بطريقة غير مباشرة، بمخاطر صحية بالحث على تسريب مواد كيميائية أو إيقاف نظام الطاقة الكهربائية أو بتسيير العربات تسييراً خاطئاً. لذلك، يجب أن يكون أمان البشر موضوعاً أساسياً للكثير من أنواع الأشياء.

ثمة فارق مهم آخر بين تجهيزات إنترنت الأشياء والحواسيب المتعددة الأغراض يتمثل في الإدارة. ففي حالة الحواسيب المكتبية والمحمولة والجهاز اللوحي والهواتف الذكية، ثمة تفاعلات غنية بين المستعملين والتجهيزات. ويجب وجود بعض المفاهيم عن الإدارة: وجود مسؤولين عن النظام لهم أدوار محددة وهامة في حالة التجهيزات المتعاونة، ومفهوم المستعمل نفسه المسؤول في حالة التجهيزات الشخصية. ولكن في حالة تجهيزات إنترنت الأشياء؛ قد لا يُتاح إلا القليل من التفاعل مع المستعمل، ويكون مفهوم "الإدارة" غير واضح.

في الوقت الذي يسهل فيه الحفاظ على تحديث نظم التشغيل والتطبيقات في الحواسيب للاستعمال العام المكتبية

والمحمولة والأجهزة اللوحية والهواتف الذكية، فإنه يصعب على المستخدمين تحديث تجهيزات إنترنت الأشياء إذا لم يكن الأمر مستحيلاً. بعض التجهيزات تبقى بالاستعمال طوال مدة حياتها، تماماً كما استُلمت - إلا إذا جرى سحبها أو استبعادها أو حتى نسيانها. في بعض هذه الحالات تكون التحديثات الأمنية أساساً مستحيلة أو في غاية الصعوبة. في حالات أخرى، يمكن النفاذ مباشرة إلى التجهيزات، من بُعد، بواسطة الإنترنت؛ يجب أن تكون آليات التحديث آمنة بحيث لا يتمكن المهاجمون من تخريبها أو إقحام تحديثاتهم أو هجماتهم.

في حالة الأشياء التي لها تفاعل ضروري مع المستثمر، فإن حجمها الصغير نموذجياً لا يسمح باستعمال شاشات اللمس ولوحات الملامس. لذلك، على هذه التجهيزات إما أن تعتمد على تجهيزة أخرى مثل التجهيزات اللوحية أو الهواتف الذكية للتفاعل، أو أن تستعمل أنماطاً تفاعلية مثل الدخول الصوتي. في حالة الواجهات الصوتية، ثمة مشاكل ناجمة عن الغموض في اللغة ومخاطر خصوصية واضحة ترافق التجهيزات المنتشرة التي تسجل باستمرار المحادثات الصوتية وتعالجها، إضافة إلى فرص مثيرة للاهتمام لهجمات تعيد تشغيل الصوت أو تركيب أوامر صوتية من جهاز لآخر. ومثلما هو واضح في إعلانات التطبيقات، فإن الواجهات الصوتية يمكن أن تُستعمل أيضاً لإجراء الاتصالات فوق الصوتية، غير المسموعة للبشر [9].

في الوقت الذي يمكن فيه نموذجياً وقف هجمات شبكة روبوط عن طريق إيقاف الأمر والتحكم في المخدمات التي تتسق للهجمات، فإن تجهيزات إنترنت الأشياء الفردية لا تزال مُخترَقة، ويمكن أن يجري سحبها إلى شبكة روبوط جديدة في أي وقت. لقد تُركنا مع العديد من الأسئلة: على سبيل المثال، من المسؤول عن تثبيت هذه التجهيزات؟ ما الدافع لِمالكِ كمرّة موصولة إلى الشبكة لكي يعاني من تحديث برمجيات الشبكة في الوقت الذي يبدو أن هذه البرمجيات تسير على خير ما يُرام؟ من الشخص المسؤول عندما تحدث انقطاعات خطيرة؟ هل هو المصنِّع أم البائع أم الشخص أو المؤسسة التي نشرت التجهيزات؟ أم مزود الاتصالات السحابية أو الخلفية؟ أم مستعمل التجهيزة عن غير قصد؟ لكلٍ من هؤلاء الأبدال مخاطره الخاصة الناتجة عنه.

حتى وقت قريب، سيطر الاندفاع التنافسي نحو السوق على دراسة معظم هذه المخاطر، مع اهتمامات ضئيلة جداً بالموثوقية. يبدو أن هذه الحقيقة أدت إلى إهمال الأمن والخصوصية إهمالاً محزناً. وضوحاً يجب أن يتغير هذا، مما يوحي بظهور بعض الاعتبارات الجديدة البعيدة النظر لاسيما حين يمكن أن تكون هذه المخاطر أكبر.

## مواجهة المخاطر

نحاول فيما يلي الإضاءة على بعض الخطوات التي يمكن أن تكون مرغوبة. مثلما لوحظ سابقاً في فقرة المخاطر، ثمة حاجة ملحة لاعتبار المخاطر في سياق النظم الكلية. يتطلب إنترنت الأشياء اهتماماً أكثر عمقاً بموثوقية النظم الشاملة، التي يشكّل فيها أمن الأشياء جانباً واحداً فقط، لاسيما أنه حالياً لا يوجد أساساً أي أمن حقيقي في النظم الحاسوبية وفي الشبكات. وضوحاً هذه الحقيقة تجعل مشكلة تأمين الموثوقية أصعب بكثير.

نعدد هنا بضع خطوات فقط يمكن أن تساعد المطوّرين والمديرين والمستخدمين. ولكننا نحذر صراحةً أن هذا الملخص هو بداية أساسية، وغير مكتملة بطبيعتها. وقد لا يكون مفاجئاً أن ما نحتاج إليه متسق نوعاً ما مع سلسلة التقارير من مجلس علوم وتقنيات الحاسوب في الأكاديمية الوطنية، خلال العقود العديدة الماضية، ومنها التقارير الأكثر حداثة [2]. إضافة إلى ذلك، فإن المنشورات الخاصة من NIST رقم 800-160 بعنوان موارد أمن الحواسيب ( <https://doi.org/10.6028/NIST> ).

160-800.SP؛ تشرين الثاني 2016) تشير إلى جوانب هندسية هامة. أيضاً، في سياق إنترنت الأشياء، فإننا نحتاج إلى إعادة تأكيد عدة مواضيع جرت مناقشتها في سلسلة "مخاطر داخلية" عموماً، وهي هامة جداً هنا.

سيكون لبعض تجهيزات إنترنت الأشياء تطبيقات بسيطة تُنفَّذ على دارات بدون أي نظم تشغيل للاستعمال العام. ويمكن أن تحتاج أشياء أخرى نظم تشغيل بسيطة تركز فقط على متطلبات مخصصة مثل ضمانات العمل في الزمن الحقيقي، وربما تحتاج أخرى إلى نظم تشغيل كاملة. وبذلك فإن البرمجيات والعنائد القابلة للتطوير مفيدة جداً لأسباب اقتصادية ولفاعلية التشغيل. ومن المرجح أن تتراوح التجيزات من نظم تشغيل صغيرة<sup>3</sup> على معالجات صغيرة إلى بيئات واسعة قابلة لإعادة البرمجة لتتحكم مركزياً بالأشياء لشركات بكمالها. بالمقارنة، نحتاج إلى مجال واسع من الدعم التطويري يتراوح من العنائد المضمّنة كلياً مثلما جرى استلامها بدون إمكان أي تغيير برمجي (باستثناء ربما عمليات الاستدعاءات أو التحديثات الممكنة من بُعد)، وصولاً إلى الأشياء ذات بيئات التطوير المرنة والتي تدعم لغات البرمجة. وبذلك، ربما نتطلب أن تشمل لغات البرمجة والمترجمات الأشياء البسيطة جداً والمعقدة جداً. وسيكون الاهتمام بالموثوقية العالية هاماً، لا سيما لتضمين تطبيقات ربما غير آمنة في بيئة موثوقة.

يفتقر المستعملون عادة إلى الخبرة والصبر، وإمكاناتهم محدودة للتعامل مع التعقيد، وغير واعين للحالات الصعبة. بالنتيجة، يتطلب تصميم واجهات المستثمر للأشياء ولمتحكماتها عناية واهتماماً خاصين. هذه الواجهات يجب أن تكون سهلة الاستعمال بسلاسة، واضحة بنفسها حدسياً، وودودة للأمينين تقنياً، إضافة إلى إمكان تشكيلها على نحو مناسب من قبل كل الأشخاص. يمكن إدارة الأشياء ذات المشاكل الخاصة بسهولة، إذ إن حوسبة هذه الأشياء الحالية (مثل المصابيح التقليدية ومحصة الخبز وما شابهها) سيجعلها غير قابلة للاستعمال حين تفشل. وربما أسوأ من ذلك، التجهيزات الحالية التي تفقد أمانها ميكانيكياً والتي قد لا تعمل يدوياً. ربما مثال ذلك، السيارات الكاملة الأتمتة التي لا يمكن فتح أبوابها من الداخل إذا فرغت بطاريتها أو كانت السيارة تحت الماء، أو ربما الثلاجة التي لا يمكن فتح بابها إذا تعطل متحكم الأشياء فيها أو إذا جرى اختراقه. إن التقنيات التي تتحسس الأعطال ستكون أساسية.

إن الحاجة إلى التنصيب والتكامل السلس أمر بالغ الأهمية من وجهة نظر الزبون، إلا أن هذا يجب ألا يدفع إلى تجاهل الأمان. يشكل السعي السائد نحو البساطة أحد أخطر المخاطر هنا، على سبيل المثال، كأن نتطلب مجرد الالتزام بالمقاييس والتوقعات، إضافة إلى احتياجات غير واضحة لسهولة التنصيب والاستعمال. نحتاج إلى المقاييس لتسهيل التنصيبات ذات التشغيل البيئي، التي تشمل تجهيزات من البائعين المختلفين. يجب ألا تكون موافيق (بروتوكولات) التوصيل بسيطة إلى درجة تفقدها الأمان كما هو الحال غالباً الآن.

يجب عزل أي شبكة محلية في البيت أو في الشركة عزلاً مناسباً عن الإنترنت والوصلات الخارجية الأخرى - باستثناء الأمكنة التي تكون فيها التفاعلات مرغوبة صراحةً ونضمن حماية مناسبة لها. ترغب بعض النظم والأشياء، إلى حد ما، في أن تكون مرنة ومقاومة لسوء الاستعمال الداخلي، مع أنها يمكن أن تكون أقل أهمية للمنازل الودودة منها للكيانات المتعاونة. من جهة أخرى، يجب أن تكون جدران الحماية من الإنترنت منيعة أكثر من سوء الاستعمال الخارجي مما هي عليه الآن. من الناحية المثالية، يجب تحاشي كلمات السر الثابتة ومفاتيح التعمية الافتراضية في التجهيزات، مع أنها شائعة جداً في الوقت الحالي، وقد جرى استثمارها فعلاً من قبل البرمجيات الخبيثة Miari (مثلما ذكرنا آنفاً). ومع ذلك، ستكون هناك حالات

<sup>3</sup> نظم التشغيل الصغيرة هي نظم تشغيل مخصصة لشيء وحيد. (المترجم)

لا يمكن فيها تجيز التحديثات بأمان وقد يكون البديل الوحيد عنها استعمال الاستدعاءات. لتعزيز الاستدعاءات، يمكن أن تحتاج جدران الحماية لتعرف المرور من الاستدعاءات و/أو الأشياء المخترقة وإيقاف الاتصال لحماية النظم على بقية شبكة الإنترنت.

علينا أيضاً أن نأخذ بالاعتبار الحاجات إلى المراقبة، وحماية المستهلك والقوانين الناظمة والمسؤولية عن الانتهاكات الصارخة التي ينجم عنها مخاطر جدية. ولأن البرمجيات تتحول بسرعة إلى عالمنا المادي بواسطة الأشياء "الذكية"، لا يمكننا قبول نقل المفهوم القائل بأن البرمجيات تميل لأن تُستعمل "كما هي"، ببساطة، دون تحمل المسؤولية عن نتائج العيوب. إن التجهيزات الإلكترونية التي يمكن أن تؤذي الناس أو تقتلهم تخضع نموذجياً لبعض النواظم الحكومية والاختبارات لحماية المستهلكين. حين يعتمد التشغيل الآمن للمنتج على كون برمجياته آمنة أو موثوقة، فإن على القوانين الناظمة أن تعالج هذه الجوانب من أمان المنتج. أيضاً يجب تعيين مسؤوليات كل الأشخاص المعنيين وجعلها واضحة. على سبيل المثال، إذا احترق منزلك بسبب هجوم قرصنة على تجهيزات إنترنت الأشياء، أو بسبب إهمالك وإخفاقك في حماية تجهيزاتك التقنية، فهل ستفرض شركات التأمين تغطيتك بسبب نقاط الضعف المعروفة ولكن غير المعالجة أو بسبب حالات لم توجد بعد؟ باختصار، نحتاج إلى مكونات عتادية وبرمجية موثوقة على نحوٍ مجدٍ، وإلى تطورات أفضل وانتشار أوسع للممارسات مما نشهده اليوم- لتمكين إنترنت الأشياء من توفير أمان بشري مناسب وأمن ووثوقية وسهولة الاستعمال جعل المستخدمين راضين.

### بعض الجهود المميزة

من المستحسن جداً دراسة بعض أنواع الأشياء كتطوير نماذج في البحث والتطوير، ومحاولة التأكد أنه قد جرى على الأقل تعيين كل المخاطر المقبولة (المعقولة). سنستفيد من بضعة حالات ناجحة جداً لتمهيد الطريق إلى كيفية فعل هذا في المستقبل. إن ضم هندسة النظم وهندسة البرمجيات والعتاديات وتطوير تطبيقات بعناية -ربما مع بعض التحليلات الصورية لتوفير ضمان أفضل- سيكون في غاية الأهمية لكل من ينافس في سوق إنترنت الأشياء. وبذلك، يمكن للقليل من النظم الموثوقة المصممة والمطورة جيداً والموثوقة جيداً، أن توفر أمثلة رائعة لبقية المطورين. كخطوة في هذا الاتجاه، المثال الموثق لتصميم الأمان المبدئي لنظام تصوري قابل للارتداء<sup>4</sup> لملاحقة اللياقة البدنية، الذي أنتجه مركز IEEE للتصميم الآمن بمبادرة ورعاية IEEE للأمن السبراني [12].

سيكون مهماً جداً أيضاً تزويد المطورين بالأدوات والمعارف لبناء الأمان والخصوصية والموثوقية وجوانب الثقة الأخرى، في النظم التي يطورونها. هذا هام بوجهٍ خاص لمطوري نظم إنترنت الأشياء الذين قد تكون خبرتهم الأمنية أقل من خبرة مطوري البرمجيات التقليديين. لقد أدركنا هذه الحاجة، ومهتمون بالعديد من الجهود لتعيين الحالة- ومنها المؤتمر الجديد لتطوير الأمان السبراني من IEEE، (IEEE SecDev) [3]، ومبادرة البحث والتطوير المستقلة الاستراتيجية لدى SRI International حول أمن إنترنت الأشياء والخصوصية.

<sup>4</sup> ساعات ذكية (smartwatch). (المترجم)

## بعض الأفكار للمستقبل

تُظهر الشعوب حالياً تنوعاً واسعاً فيما يتعلق بفهم تقنيات الحواسيب، وإمكان استعمالها، والنفاد إليها. لا يمكننا منع الوصول إلى الخدمات الأساسية لمجموعات من السكان بتجاهلهم وعدم قدرتهم على استعمال بعض التقنيات استعمالاً صحيحاً. أهم من كل شيء، أن لدينا حاجات جديّة لنشر معارف الحواسيب بين كامل السكان.

إن العديد من المخاطر والحاجات التي ناقشناها هنا ليست مخصصة فقط لإنترنت الأشياء، ولديها أمور مشتركة مع الاستعمالات العامة للحواسيب. ولكن، علينا أيضاً اعتبار المركبات الذاتية القيادة أشياء على الطرق السريعة المؤتمتة، إضافة إلى الطائرات المؤتمتة- والتعامل معها على نحو مشابه ضمن السياق الأساسي نفسه. إن المبدأ نفسه لإنترنت الأشياء يوجهنا إلى تركيز شخصي وداخلي أعلى، لظهوره في المنازل والمركبات والأشياء القابلة للارتداء، وبهذا المعنى فإن الأمر يلامس كل شخص إلى حدٍّ ما. حتى أولئك الذين لا يرغبون في ذلك، ربما يجدون أنفسهم مجبرين على شراء تجهيزات مهياًة كإنترنت أشياء، ببساطة لعدم وجود أبدال أخرى بعد اليوم.

تحتاج نصائح اليوم الحكيمة المفترضة حول طريقة التعامل مع الأمن والأمان إلى الارتقاء على نحو ملحوظ. على سبيل المثال، مع أننا متألفون مع تحذيرات مثل التحذيرات التالية، التي لا يعمل بها كل الأشخاص: احذروا الهندسة الاجتماعية، والمتسوقين، والحلول السهلة! لا تتقر الروابط المشبوهة! لا تعرض معلوماتك الخاصة على وسائط التواصل الاجتماعي! الزم (أو حتى تجاوز) أفضل الممارسات الأمنية! فإن المخاطر الجديدة ستكون أكثر انتشاراً، وسنحتاج إلى أن نحدّد كيف ستبدو التحذيرات المعقولة والعامة في عالم إنترنت الأشياء. بالفعل، يبدو أن إنترنت الأشياء ستصبح مثيرة للجدل أكثر ما لم تُصرف جهود جديّة استباقياً، من قبل الحكومات ولجان المقاييس، وبائعى الأشياء والبنى الأساسية للأشياء (ومنها الإنترنت نفسها) ومجتمعات المستخدمين. وللحصول على معلومات أساسية أكثر أهمية، يرجى الاطلاع على الشهادة الحديثة أمام مجلس النواب الأمريكي [10, 4]. وأيضاً تم لحظ بعض أفضل الممارسات في توصيات من قسم الأمن القومي [11] و [6] BITAG. ولكن، كما لاحظنا في فقرات مخاطر داخلية السابقة، فإن أفضل الممارسات لا تُعتبر جيدة بقدر كافٍ.

لنأخذ بالاعتبار تقرير "المفاتيح تحت المماسح" [1]، سيكون أفق بلايين تجهيزات إنترنت الأشياء، المزودة بالمحسات والموصولة إلى الإنترنت معزياً لأي منظمة ترغب في جمع معلومات للاستخبارات أو الأدلة، أو لاستغلال الأجهزة لنشر هجمات DDOS، أو أيّ أهداف شائنة أخرى. ستكون مخاطر التخلص من الأمن السبراني والتعمية لمثل هذه الأهداف عظيمة- وخاصة فيما يتعلق بإنترنت الأشياء.

ثمة الكثير حول هذا الموضوع، أكثر بكثير مما يمكن كتابته هنا. ولكن، هذا المقال هو مجرد محفز أولي. بالمجمل، لا يوجد إجابات بسيطة، ولكن حان الوقت للبدء بطرح الأسئلة الحاسمة.

## النتيجة

لقد وصفنا المشاكل والمخاطر الممكنة المرافقة لتطور إنترنت الأشياء. بقي أن نرى إن كانت إنترنت الأشياء وأشياءها ستزدهر (تنمو وتزدهر، كطريق إلى المستقبل)، أو أنها سمكة حفش (أحياناً تبقى على قيد الحياة لعقدين من الزمن إن لم يلق القبض عليها)، أو أنها ستكون أكثر مثل أنثى سمك السلمون (بحياة قصيرة جداً بمجرد أن تبيض). على كل حال، نحتاج لأكثر من الطبيب الجراح لإصلاح الأشياء (والأشياء في إنترنت الأشياء). ويبدو أن التغييرات التدريجية لن تتجح (فعلياً، لم تكن فعالة

على مدى العديد من السنوات)، وقد نحتاج لنوع من التغييرات الجوهرية. قد يكون المستقبل قاتماً جداً ما لم ننتبه استباقياً ونقرر: أي الأشياء يمكن تجزيها حقيقةً بحكمة، وأيها يمكن أن تكون ببساطة خطيرة جداً. يجب علينا بعد ذلك التأكد أن هذه الأشياء المفيدة يمكن دمجها في الجدارة بالثقة اللازمة للنظام الكلي (التي ليست لدينا حتى الآن). وعلى هذا علينا أن ندفع باتجاه جعل إنترنت الأشياء قابلة للاستعمال حقيقة، ثم نندفع لنضمن أن هذا يجري بالثقة المناسبة.

## المراجع

- [1] Abelson, H. et al. Keys under doormats: Mandating insecurity by requiring government access to all data and communications. *Journal of Cybersecurity* 1, 1(Nov. 17, 2015); Oxford University Press; <http://www.cybersecurity.oxfordjournals.org/content/1/1/69>
- [2] Computer Science and Technology Board, National Academies of Science, Engineering, and Medicine. *Foundational Science for Cybersecurity*, final report, 2017.
- [3] Cunningham, R. et al. IEEE SecDev 2016: Prioritizing Secure Development. *IEEE Security and Privacy* (July–Aug. 2016), 82–84. <https://www.computer.org/csdl/mags/sp/2016/04/msp2016040082.pdf>
- [4] Fu, K. Infrastructure Disruption: Internet of Things Security, Testimony before the U.S. House of Representatives Committee on Energy and Commerce, Subcommittee on Communications and Technology and Subcommittee on Commerce, Manufacturing, and Trade (Nov. 16, 2016); <https://energycommerce.house.gov/hearings-and-votes/hearings/understanding-role-connected-devicesrecent-cyber-attacks>
- [5] Greenberg, A. Hackers remotely kill a Jeep on the highway—With me in it. *Wired* (July 21, 2015); <http://www.wired.com/2015/07/hackers-remotely-killjeep-highway/>
- [6] Internet of Things (IoT) Security and Privacy Recommendations, BITAG Broadband Internet Technical Advisory Group, November 2016: [http://www.bitag.org/documents/BITAG\\_Report\\_-\\_Internet\\_of\\_Things\\_\(IoT\)\\_Security\\_and\\_Privacy\\_Recommendations.pdf](http://www.bitag.org/documents/BITAG_Report_-_Internet_of_Things_(IoT)_Security_and_Privacy_Recommendations.pdf)
- [7] Krebs on Security (Oct. 21, 2016); <https://krebsonsecurity.com/2016/10/hacked-cameras-dvrspowered-todays-massive-internet-outage/>
- [8] Neumann, P.G. Risks of automation: A cautionary total-system perspective of our cyberfuture. *Commun. ACM* 59, 10 (Oct. 2016); <http://www.csl.sri.com/neumann/insiderisks.html#240>
- [9] Newman, L.H. How to block the ultrasonic signals you didn't know were tracking you. *Wired* (Nov. 3, 2016); <https://www.wired.com/2016/11/block-ultrasonicsignals-didnt-know-tracking/>
- [10] Schneier, B. Testimony before the U.S. House of Representatives Committee on Energy and Commerce, Subcommittee on Communications and Technology and Subcommittee on Commerce, Manufacturing, and Trade (Nov. 16, 2016); <https://energycommerce.house.gov/hearings-and-votes/hearings/understanding-role-connected-devicesrecent-cyber-attacks>
- [11] Strategic Principles for Securing the Internet of Things. Department of Homeland Security, along with an IoT Fact Sheet (Nov. 15, 2016); <https://www.dhs.gov/securingtheIoT>
- [12] West, J. et al. WearFit: Security Design Analysis of a Wearable Fitness Tracker, February 2016; <http://cybersecurity.ieee.org/blog/2016/02/17/wearfitsecurity-design-analysis-of-a-wearable-fitness-tracker/>
- [13] York, K. Dyn Statement on 10/21/2016 DDoS Attack (Oct. 22, 2016); <http://dyn.com/blog/dyn-statementon-10212016-ddos-attack/>

## المؤلفان

**أولف ليندكفست Ulf Lindqvist** (ulf.lindqvist@sri.com) مدير برنامج في مختبر علوم الحاسوب في المعهد الدولي للبحوث العلمية (SRI International).

**بيتر نؤيمان Peter Neumann** (peter.neumann@sri.com) هو من كبار العلماء الرئيسيين في مختبر علوم الحاسوب في المعهد الدولي للبحوث العلمية (SRI International)، ومدير منتدى مخاطر رابطة آلات الحوسبة (ACM Risks).

# لِمَ يُعَدُّ تَمَثِيلُ الْمَعْرِفَةِ مَهْمًا؟

## WHY KNOWLEDGE REPRESENTATION MATTERS\*

Yoav Shoham

ترجمة: د. ندى غنيم

مراجعة: د. غيداء ريداوي

قصة شخصية: من الفلسفة إلى البرمجية.

هناك فرقٌ كبيرٌ بين الاهتمام الذي يحظى به "الذكاء الصناعي" حاليًا وبين ما كان يحظى به في التسعينيات. منذ عشرين سنة مضت، كان التركيز منصبًا على الذكاء الصناعي المعتمد على المنطق (logic-based AI)، تحت عنوان تمثيل المعرفة (knowledge representation) (KR)، في حين ينصب التركيز حاليًا على التعلم الآلي (machine learning) والخوارزميات الإحصائية. خدم هذا التحول الذكاء الصناعي كثيرًا، إذ يتيح التعلم الآلي والإحصائيات حلولاً خوارزمية فعالة لبعض أنواع المسائل (مثل تعرّف الصورة) بطريقة لم يتحها تمثيل المعرفة. مع ذلك، فإنني أؤكد أن هذا التوجه قد ذهب إلى أبعد مما هو مطلوب، وأنا بذلك فقدنا شيئاً قيماً.

يعدُّ تمثيل المعرفة أمراً معقداً، ومع أنني أعتقد أنه يمكن طرح نقاشٍ حول تمثيل المعرفة ككل، إلا أنني سأركز على جانب "الفلسفة التطبيقية" المتعلق به، أي التمثيل المنطقي لمفاهيم الحس السليم (المفاهيم الشائعة)، مع التركيز على الأسس الدلالية الواضحة.

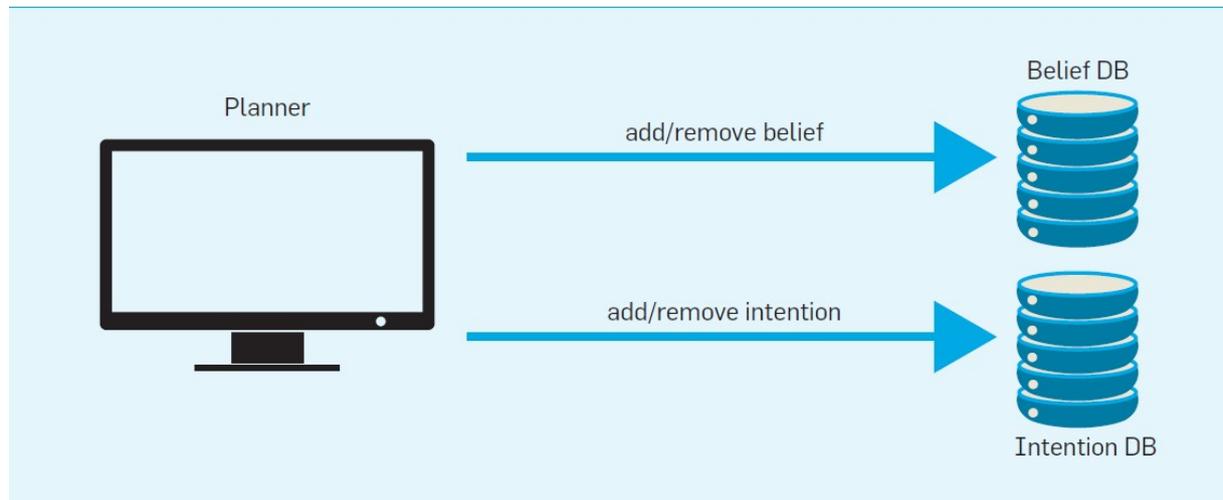
سأوضح معظم القضية من خلال قصة شخصية. تبدأ القصة بمقالٍ نشرته في عام 2009 في مجلة المنطق الفلسفي (Journal of Philosophical Logic)، وتستمرُ بمشروعٍ بحثيٍّ في جامعتي ستانفورد (Stanford) وديوك (Duke)، ثم بشركة اسمها Timeful، وتنتهي باستحواذ شركة غوغل على شركة Timeful في عام 2015. يَدُلُّ مغزى هذه القصة على وجود علاقة مباشرة بين المقال الأصلي في المجلة ونجاح الشركة في آخر المطاف.

كان عنوانُ مقالِ المجلة "منطقُ المقاصد (النيّات) ومنظورُ قاعدة المعطيات" (Logics of Intention and the Database Perspective). نُشِرَ هذا المقالُ بعد تيارٍ هامٍ، برغم محدوديته، من المقالات عن منطق المقاصد في الذكاء الصناعي ولده مقالُ Cohen و Levesque الأصيلُ بعنوان "القصد هو الاختيار والالتزام" (Intention is choice + Commitment). هذه الأدبيات كانت بدورها قد استلهمت من أدبياتٍ أقل رسمية في الفلسفة حول الوكالة العقلانية (Rational Agency)، مثل مقال Bratman "القصد، والخطط، والتفكير العملي" (Intention, Plans, and Practical

\* نُشِرَ هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 1، كانون الثاني (يناير) 2016، الصفحات 47 – 49.

(Reason). لقد استلهمت مقالي من مقال Cohen و Levesque، إلا أنني ناقشت أسسها واقترحت منهجيةً بديلة، ومع أن الحوسبة كانت الدافع وراء منهجيتي (كما يشير عنوانها)، فإن البراهين كانت بطبيعتها نظرية وفلسفية. سعيْتُ بعد هذا المقال للحصول على بعض التمويل لمتابعة البحث، مثلما يفعل الأساتذة عادةً. ومثلما يفعل الممولون عادةً، طلب مني الممول الذي يرغب في تمويل بحثي أن أُضَمِّن بعض التطبيقات المحتملة لهذا العمل. عندها، خطرت ببالي أمورٌ كثيرة، كان أولها أنني أتعامل مع المقاصد كل الوقت، وأدونها في مذكرتي الشخصية، والثاني، أن هذه المقاصد كانت من نوعٍ محددٍ جدًا -أحداث واجتماعات ثابتة (صارمة)، والثالث، أن مذكرتي الشخصية لا تختلف كثيرًا عن تلك الخاصة بجدي الراحل، وهذا الأمر يُعدُّ غريباً، نظراً إلى مدى تغيّر المتطلبات المتعلقة بوقت الأشخاص، وإلى مدى تطور التقنية. قادني هذا إلى سؤالٍ بديهي: ما الذي سيحدثُ إن حسَّنتُ المذكرة بإضافة أنواعٍ من المقاصد أغنى وأكثر مرونةً، وكان لدى المذكرة الذكاء لتساعد على معالجة التعقيد الناتج؟

لفهم هذه المسألة فهماً أفضل، يجدر بنا مناقشة أفكار مقال المجلة بتفصيلٍ أكبر. جرى تضمين منظور قاعدة المعطيات المقترح في الشكل المرفق الذي يمكن اعتباره تعميماً لمخطط  $AGM^1$  لمراجعة المعتقد (belief revision) والذي اقتصر في الصورة على جزء "المعتقد". في إطار عمل AGM، لا تكون قاعدة المعطيات الذكية مسؤولةً عن تخزين معتقدات المخطِّط فقط، بل تضمن اتساقها أيضاً. في إطار العمل الذي جرى إغناؤه لدينا قاعدتا معطيات، إحداها للمعتقدات والأخرى للمقاصد، وهما ليستا مسؤولتين عن الحفاظ على اتساقهما الفردي فقط، بل عن الاتساق المتبادل أيضاً. وضعتُ في مقال المجلة الشروط الأساسية للاتساق، ثم قمتُ في مقالٍ لاحقٍ، بالمشاركة مع Pacuit و Icard، بوضع صياغة منطقية لهذه الشروط، وهي توسعة متحفظة لإطار عمل AGM. ليس من المناسب في هذا المقال الدخول في تفاصيلٍ تقنيةٍ أدق، وبالفعل العديد منها ليس ذا صلة هنا. وتعدُّ فكرة قاعدة معطيات المقاصد التي تؤدي وظائف ذكية بدل الوكيل أهم ما يمكن استنتاجه هنا.



منظور قاعدة المعطيات.

<sup>1</sup> سمي هذا النموذج AGM نسبة لمبتكريه David Makinson، Peter Gärdenfors، Carlos Alchourrón.

بالعودة إلى مسار القصة، فقد جرى إقناع الممول، وبدأنا مشروعاً صغيراً لسبر هذه الأفكار. كانت السنتان اللاحقتان ممتعتين، لكن فيما يتعلق بقصتنا هذه، فلا شيء يستحق الذكر سوى أنه سرعان ما ترأس المشروع طالبُ دكتوراه جديد، وهو Jacob Blank، كما انضم إلى المشروع صديقي القديم وزميلي Dan Ariely، وهو خبير اقتصادي سلوكي شهير؛ وقررنا في بداية عام 2013 إنشاء شركةٍ سميت لاحقاً Timeful. حتى ذلك الوقت، لم تكن تقودنا تفاصيل بحثنا المشترك كثيراً بقدر ما كنا ندرك مدى حِدّة مشكلة إدارة الوقت في المجتمع، وكم هي الأدوات الحالية غير ملائمة لمعالجتها.

عندما صدرت النسخة Timeful 1.0 في تموز 2014، كانت ردودُ فعل المستعملين والصحافة مرضية جداً. خلال الشهر الأول، انهال علينا قرابة 2000 رسالة بالبريد الإلكتروني من المستعملين وكان العديد منها مؤثراً. لقد ضرب Timeful على الوتر الحساس، مع أن المنتج كان لا يزال في بداياته. سرعان ما جذبت هذه الشركة اهتمامَ لاعبين كبار، مما أدى لاستحواذ شركة غوغل عليها في النهاية. لم يكن أي من هذا ليحدث دون "تمثيل المعرفة"، وإليك السبب.

### أغراض المقاصد كنموذج أساسي للمعطيات

طوّرت Timeful مفهومَ مساعد الوقت الشخصي ((Personal Time Assistant (PTA) الذي يهدف إلى المساعدة في إدارة الوقت الذي يعدّ أكثر الموارد ندرةً وأصعبها إدارةً. استندت المنهجية إلى ثلاث دعائم أساسية: الأولى، السماح للمستعمل بأن يمثل في النظام أي شيء يتنافس على وقته، والثانية تطبيق التعلم الآلي وخوارزميات أخرى على المسألة التي تعدّ بطبيعتها مسألة استمثال صعبة، أما الدعامة الثالثة فكانت علم السلوك، أي صياغة بيئة تساعد على تصحيح الأخطاء الطبيعية التي نرتكبها كلنا في إدارة الوقت ببراعة (مثل التأجيل والمبالغة في تقدير متاحيتنا في المستقبل). من بين هذه الدعائم، أرغب في التركيز على الأولى، ذلك أنها كانت أكثر الدعائم الثلاثة جوهرية، كما أنها تعتمد مباشرة على تمثيل المعرفة.

لنتأمل جميع الأشياء التي تتنافس على وقتنا: الاجتماعات، والأحداث، والمهام (المأموريات، قضاء الحاجات)، والمشاريع، والهوايات، والعائلة، والمحافظة على الصحة، والرياضات، أو حتى الوقت لمجرد التفكير واستعادة النشاط. تختلف جميع هذه الأشياء فيما بينها ظاهرياً، كما أنها تاريخياً موجودة في تطبيقات مختلفة (الاجتماعات والأحداث في المذكرة، المهام في لائحة الواجبات (to-do list)، المشاريع في نظام إدارة المشاريع) أو يمكنها ببساطة أن تبقى في رؤوسنا، لكنها جميعاً تتنافس على المورد نفسه، وهو الوقت، فإذا أردت أن تقوم بمقايضة ذكية، يجب أن توجد هذه الأشياء كلها في المكان نفسه. وبالفعل، كلها مقاصد، وإن كانت ذات خصائص مختلفة. بعد التصور الخاص بقاعدة "معطيات المقاصد" الذكية، تمثّل أول قرارٍ أساسي بتطوير نموذج معطياتٍ غني إلى حدٍ كافٍ ليعتصم جميع أنماط تلك المقاصد. كانت النتيجة نموذج معطياتٍ سمي "غرض القصد" ((IO) intention object). غرضُ القصد هذا هو شعاع سمات (feature vector) يتضمن توصيفاً نصياً، وواصفاتٍ زمنية (متى يمكن تنفيذه، متى يجب تنفيذه، ومدته، وكلها قابلة للتوصيف بدرجاتٍ متباينة من الدقة)، وشروط تنفيذ القصد (مثل الموقع، أو الأدوات اللازمة)، وأنواع أخرى من الواصفات. أصبحت أغراضُ القصد أساس النظام، وكل شيءٍ متوقّف عليها -يشمل ذلك الجدولة الخوارزمية والدوافع السلوكية. جرى بالطبع توصيفُ المستعمل بعدة صفوفٍ مقاصد محزومة سلفاً، وليس بشعاعٍ من السمات. ففي نيسان من عام 2015، كانت هناك أربعة صفوف: الأحداث (مثل الاجتماعات)، والمهام (مثل إجراء محادثة هاتفية)، والعدادات (مثل

الهرولة ثلاث مرات أسبوعياً، والمشاريع (مثل كتابة تقرير طويل)، لكنها تتحلل جميعها في النظام خفيةً (بصورة مستترة) إلى شعاع السمات.

## قرارات أخرى بخصوص المنتجات

لم يكن تمثيل المعرفة الدافع الأصلي الوحيد لشركة Timeful والملهم لنموذج المعطيات الخاص بها، فعند اتخاذ قراراتٍ خاصةً بالمنتج وجدّ فريق العمل نفسه مراراً يبحث عن الإرشاد في المراجع الفلسفية. من الصعب شرح ذلك برمته، لكننا نورد هنا مثالين واقعيين.

يتعلق المثال الأول بعلامة الاختيار (checkmark) البسيطة. تتيح لك جميع لوائح الواجبات وضع علامة على المهام المنجزة. قدّمَت Timeful هذه الميزة أيضاً، لكن ما أزعجنا هو أن المهام كان لديها "علامات اختيار" على عكس الأحداث، مع أنّ كليهما غرضاً قصداً. لم تكن المشكلة في التناظر الجمالي، بل بالمبدأ الضمني، وبكيفية تطبيق هذا المبدأ على باقي أغراض القصد، مثل الهوايات والمشاريع. عندئذٍ، عُدنا إلى جذورنا، ولاحظنا أن الأمر يتعلق بملاحقة التزامات الشخص، وإذا كان هناك مبدأً واحداً تتفق عليه المراجع الفلسفية فهو أنّ القصد يتطلب الالتزام (كما يظهر في عنوان مقال Cohen و Levesque ذاته). عندما أقصد أن أفعل شيئاً ما، فلا أكتفي بتدوينه وحسب، بل ألتزم بملاحقته وجعله يحدث. عندما نظرنا إلى الأمر من هذا المنظور، لاحظنا أنّ الأحداث لا تتطلب ملاحقة؛ إذ يُنجز الاجتماع عند جدولته (هناك استثناءات، مثل حالة عدم تحقق هدف الاجتماع، لكنّ هذه الحالات عُولجت بتوصيف مهمة منفصلة مرتبطة بالاجتماع). أما باقي أنواع المقاصد الأخرى فتتطلب مراقبةً صريحة. وهكذا انتهى بنا الأمر إلى أن نرفق "علامة اختيار" بجميع أغراض القصد عدا الأحداث.

يتعلق المثال الثاني بالمجال الزمني للقصد، فأغلب نظم "لوائح الواجبات" هي "لوائح عارٍ"، أي أشياء تدونها لكنك لا تفعلها أبداً. أردنا أن نتجنب هذا، فقمنا بتحديد صارم للمجال الزمني. يُعزى هذا القرار المبكر إلى سجالٍ صغير في الأدبيات، إذ نجد في توصيف Cohen و Levesque أنّ المبدأ الأساسي هو عبارات مثل "أنا أقصد أن أقرأ هذا الكتاب"، لكنني ناقشت في مقال المجلة بأن هذه إشكالية وتعود إلى قضية الالتزام، فإذا كنت ملتزماً بقصدٍ ما غير مثبت زمنياً، فما الذي ألتزم به، وكيف سيؤدي ذلك في الواقع إلى الفعل؟ (إذا كان لديك مراهق في البيت، فأنت تدرك ما أعنيه). بدلاً من ذلك، فقد جادلنا بأن البنية الأساسية يجب أن تكون عباراتٍ مثل "أريد أن أقرأ هذا الكتاب يوم السبت من الساعة 2 إلى الساعة 4 بعد الظهر". يمكنك بعدئذٍ أن تخفف من هذه العبارات باستعمال محددات كمية (وجودية) فنقول أشياءً مثل "أقصد أن أقرأ هذا الكتاب مدة ساعتين أو ثلاث في وقت ما من هذه العطلة الأسبوعية"، لكنك يجب أن تكون صريحاً دوماً فيما يتعلق بالمجال الزمني. اعتمدت Timeful هذه الفلسفة، حيث كان العقد الضمني مع المستعمل أنه يجب أن يكون جاداً في مقاصده، وبالمقابل يساعده النظام على تحقيق هذه المقاصد بوضعها في مذكرته وحثه على إنجازها (كان الشعار عند إصدار التطبيق "جدوله، أنجزه" (do-on) أو "افعله بحلول" (do-by)). ومن ثمّ، تطلبت كل مهمة تاريخاً محدداً: إما "افعله بتاريخ" (do-on) أو "افعله بحلول" (do-by). تظهر المهمة بعدها على الجدول الزمني، مترافقة مع الأحداث (في حالة "افعله بحلول"، يختار النظام وقتاً قبل الموعد المحدد، وكان باستطاعة المستعمل أن يعدّله لاحقاً إن كان ذلك ضرورياً. في الواقع، إذا حلّ حدث ما لاحقاً محلّ المهمة، فسيزيح النظام المهمة آلياً). طُبّق المنطق نفسه على الهوايات والمشاريع بطرائق أكثر تشاركية.

## الخاتمة

إن قصة Timeful هذه قصة سعيدة، ويعود معظم الفضل في ذلك إلى تمثيل المعرفة. هل كان بالإمكان الوصول إلى نفس الأفكار دون تمثيل المعرفة أو الفلسفة؟ ربما، لكن في الواقع لم يصل إليها أحد، ولا أعتقد أن ذلك كان مصادفةً. عندما تصنع منتجاً، فأنت تريد أن يكون جميلاً من الداخل. ما أعنيه هنا هو أنك عندما تنتهي لتصمم تجربة مستعمل رائعة، فإما أنك لا تملك المفردات المفاهيمية التي تمكّنك من إنجازها كما ينبغي، أو أنك في الحالة الأسوأ، تجابه إطار عمل مفاهيمي ونموذج معطيات موجودين. وإذا لم تكن البنية الداخلية صحيحة، فلن يكون لديك أبداً تجربة مستعمل جميلة. تحكّم الفلسفة وتمثيل المعرفة على التفكير بإمعان في البنية المفاهيمية الخاصة بمسألتك، وتكون مرشداً لك عند تصميم سماتٍ محددة.

لا يقلل هذا من أهمية التعلم الآلي أو الإحصائي، لكن التعلم الآلي يتطلب فضاء سماتٍ، والإحصاءات تتطلب فضاء أحداث. إن أكثر هواة التعلم العميق تعصباً لن يقيموا الحجة على من ينتجون الآلة دون مساعدة البصيرة (الأفكار) البشرية (إلا إذا كنت تعمل في شركة google، وتهتم بالقطط فقط<sup>2</sup>).

هل هذا يعني أن لكل معضلة فلسفية وأحجية منطقية أثر عملي مباشر؟ بالطبع لا. لكن إذا كنت تصمم سيارة، فأنت بحاجة إلى عجلات، لذا لا داعي لإعادة اختراعها لا سيما إذا لم تكن عجلاتك مستديرة تماماً.

هناك أسباب تجعلنا متقاتلين، فهناك مؤشرات إلى أن الباحثين قد أصبحوا أكثر حذراً من وجهة النظر القائلة بأن "التعلم الآلي والإحصاء سيحلان كل شيء"، وأنهم أخذوا يبحثون في مسألة دمج الإنجازات المذهلة للتعلم الآلي في منهجية أوسع نطاقاً للذكاء الصناعي. على سبيل المثال، جمعت إحدى الندوات وهي AAAI Symposium باحثين رواداً في مجال تمثيل المعرفة، والتعلم الآلي، وعلوم اللغة، وعلم الأعصاب لمناقشة التفاعلات بين هذه المجالات. يُبني حديسي بأن النواس قد بدأ يتأرجح رجوعاً قليلاً، وأنا إذا ما شجعنا نحن (كمجتمع) هذا التوجه، فسيتحسن الذكاء الصناعي.

## المراجع

- [1] AAAI Spring Symposium on KRR: Integrating Symbolic and Neural Approaches, Stanford University (Mar. 2015); <https://sites.google.com/site/krr2015/>
- [2] Alchourrón, C.E., Gärdenfors, P., and Makinson, D. On the logic of theory change: Partial meet contraction and revision functions. *Journal of Symbolic Logic* 50 (1995), 510–530.
- [3] Bratman, M. *Intentions, Plans, and Practical Reason*. Harvard University Press, 1987.
- [4] Cohen, P. and Levesque, H. Intention is choice + commitment. *J. Artificial Intelligence* 42 (1990), 213–261.
- [5] Icard, T., Pacuit, E., and Shoham, Y. Joint revision of belief and intention. In *Joint Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR)*, 2010.
- [6] Shoham, Y. Logics of intention and the database perspective. *J. Philosophical Logic* 38 (2009), 633–647.

<sup>2</sup> هنا أنا أعتمد على الحس الفكاهي لزملائي في شركة غوغل.

# تعلّم كيف تتعلّم

## LEARNING TO LEARN\*

Peter J. Denning, Gloria Flores

ترجمة: د. أميمة الدكاك

مراجعة: د. مكي الحسني

هل تشعر بالارتباك والحيرة حين يكون عليك تعلّم شيء جديد؟ اقرأ هذا.

لماذا يحدث هذا حين نحتاج إلى تعلّم شيء جديد، يفيدنا في عملنا أو في حياتنا المنزلية، وغالباً ما نجد أنفسنا مقيدين بما يبدو أنها قوى خفية؟ حين نُحَقِّق في التعلّم فإننا نفوّت على أنفسنا مشاريع وترفيعات وفُرصاً. وينتهي بنا الأمر إلى المعاناة والبُعد عن أهدافنا. يبدو أن قدرتنا على التعلّم، خصوصاً في المجالات التي نهتم بها أكثر من غيرها، تتدهور بطريقة بمرور الزمن، وهي حالة الكثيرين منّا.

لقد استعمل المعلمون ورؤاد الأعمال مصطلح "تعلّم كيف تتعلم" (أو "تعلّم التعلّم")، لتسمية مهارة مفقودة يمكنها أن تعاكس التدهور. إن أدبيات الأعمال مملوءة بنصائح وكلمات مدوّية حول هذه المهارة: "تعلّم من الأخطاء"، و "لا بأس إن أخفقت غالباً وبسرعة"، "تعلّم بسرعة مع تقدّم التقانة"، "كن محبباً للاستطلاع والتعلّم"، "تعاون مع الآخرين"، "لا تضخّم الأشياء". [7, 8] ولكن، بالرغم من هذه الأقوال المأثورة فإن شيئاً ما، يبقينا متخلفين. شيء ما فينا يقاوم التعلّم بل يجعلنا نكفّ عنه. فما هو؟

خلال عملنا مع فرق مهنية، وجدنا مرة تلو أخرى، أن الكثيرين منهم رهينة تقديرات عميقة وتلقائية وغير ملحوظة، وافتراسات تقوهم إلى ما يعتقدون أنه يمكن أو من المناسب القيام به. إن هذه التقديرات والافتراضات هي قوى خفية تعيق التعلّم. وتتجلى على أنها مزاج.

ليس صقل المزاج بما يفضي إلى التعلّم سهلاً سهولاً تهيئة جيّ مادي جيد، كما هو الحال، على سبيل المثال، في تهيئة طاولات متحركة وموسيقا هادئة وكراسي مريحة<sup>1</sup> بالقرب من برّاد مياه مشترك. نناقش في هذه الفقرة حقيقة أن تعلّم التعلّم هو مهارة ملاحية لتعرّف المزاج الذي يحجب التعلّم، والتحوّل عنه إلى مزاج يعزّز التعلّم.

### تطوير المهارة

مع أننا، فكرياً، نتفهم أن التعلّم يتطلب أن نخطئ ونتعلم من أخطائنا، فإن عواطفنا تقودنا بعيداً عن ارتكاب الأخطاء. ففي المدرسة نحصل على درجات سيئة إذا أخطأنا في الاختبارات؛ لا أحد يبالي بأخطائنا. وفي العمل يكون تقرير مراجعة أدائنا

\* نُشِيرُ هذا البحث في مجلة *Communications of the ACM*، المجلد 59، العدد 12، كانون الأول (ديسمبر) 2016، الصفحات 32 – 36.

<sup>1</sup> كراسي ذات وسائد معبأة بالبوليستير مريحة.

سيناً إذا كثرت أخطاؤنا. لذلك، وإن كنا نعلم أنه لا بأس في ارتكاب الأخطاء، إلا أنه علينا تجنبها، وإن حصل وارتكبنا خطأ، فإننا نشعر بالإحباط والحرَج في غالب الأحيان.

بالمشابهة، نتقهم فكرياً أن التقانة يمكن أن تسرّع تعلّمنا. تقدّم تقانات المحاكاة إمكان التدرّب على مهارات دون التعرّض للأذى عند ارتكاب الأخطاء، كما هو الحال على سبيل المثال في محاكيات الطيران. ومع ذلك، حتى في البيئات الافتراضية، يشعر الناس عادةً بالإحباط إذا عجزوا عن التعلّم بالسرعة التي يتوقعونها، ويستسلمون. تجلب لنا تقانات الوب والإنترنت ذخيرة وافرة من المعلومات إلى شاشتنا عند الطلب، وذلك البحث، يتيح إمكان النفاذ إلى أفضل الدروس في العالم مجاناً من خلال MOOCs<sup>2</sup>. ومع ذلك، يكتشف معظمنا أن ليس بإمكان البحث في الشبكة ولا الدروس المجانية عليها أن تجيب عن أسئلتنا. ف عوضاً عن الشعور بتمكيننا من خلال هذه التقانات فإننا نشعر غالباً بالقهر والقلق من حقيقة أننا نعرف قليلاً بالمقابلة بما نعتقد أنه يجب علينا أن نعرفه، ولا نعرفه. نشعر أننا حمقى إذا لم نعرف شيئاً يبدو أنه يمكن النفاذ إليه بسهولة. بكلمات أخرى، ليس النفاذ إلى هذه التقانات المتقدمة، سواء لتطوير المهارات أو لتجميع المعارف، طريقاً مؤكدة النجاح إلى التعلّم.

لا يُسبب القهر والإحباط والقلق توتّرنا لنا فحسب، وإنما أيضاً توفّقنا عن التعلّم. وبعدها ندخل في مزاج "عدم الإمكان"، الذي لا نرى فيه فرصة، للتعلّم يوماً بقدر كافٍ لبلوغ أهدافنا. و عوضاً عن ذلك فإننا غالباً ما نرغب في الهروب والمغادرة. باختصار، ثمة رابطة قوية بين المزاج والتعلّم. بعض الأمزجة تدعم تعلّمنا؛ وأخرى تعيقه. إن تعلّم الملاحاة للابتعاد عن الأمزجة المعيقة، بقصد تلك التي تحسّن التعلّم هو جوهر تطوير مهارة تعلّم التعلّم.

## التعلّم وتعلّم التعلّم

لنميّز بين تعلّم مهارة في مجال ما، مثل الموسيقى أو الرياضة أو الفن المعماري أو البرمجة، وبين تعلّم التعلّم. إن تعلّم التعلّم هو النزعة إلى الانفتاح على التعلّم في مجال ما. فإذا لم نكن منفتحين على التعلّم فلن نتعلّم.

لقد وجدنا أن إطار عمل تحصيل المهارات الذي اقترحه ستوارت (Stuart) وهوبرت دريفوس (Hubert Dreyfus) في عام 1980 ممتاز لفهم كيف نتعلم مهارات في مجال ما [4]. يذكر إطار عملهم أن المتعلم يتحرك ضمن ست مراحل: مبتدئ، مبتدئ متقدم، مقتدر (competent)، مهني بارع (proficient)، خبير، خبير متمرس (master) (انظر الجدول 1). إن تقدم الإنسان يتطلب وقتاً وممارسة وخبرة. فهو ينتقل من السلوك المتردد - المعتمد على القواعد - حين يكون مبتدئاً، إلى شخص يتمتع كلياً بالثقة والحدس وسلوك تغيير قواعد اللعب كالخبير المتمرس. يعطي هوبرت دريفوس توصيفاً لهذه المراحل في كتابه "على الإنترنت On the Internet" [3]. المبتدئ، على سبيل المثال، لا يعلم المجال وعليه أن يعتمد على الآخرين ليعلموه القواعد الأساسية ويصححوا أخطاءه. أما الشخص المختص فيعرف كيف يقوم بالممارسات المعيارية الأساسية في المجال ولا يحتاج إلى إشراف لتجنّب الأخطاء الشائعة. إن الممارسة المستمرة ضرورية لضمان التقدّم خلال هذه المستويات. ولكن في القصة ما هو أبعد من الممارسة. فعند العمل مع مئات الأشخاص، رأينا في كل من هذه المراحل، أنهم حين يطمحون لتطوير مهارات جديدة، يدخلون عادةً في مزاج غير منتج يجعلهم غير راغبين بأية ممارسة، ويعيق تقدمهم باتجاه المرحلة التالية، ويبعدهم عن الوصول إلى أهدافهم التعليمية. وعلى الرغم من رغبتهم الأولية في النجاح فإنهم غالباً

<sup>2</sup> Massive Open Online Course: دروس مكثفة مفتوحة على الشبكة (الإنترنت)

ينسحبون وفي النهاية يستسلمون. إن المفتاح الرئيس لتعلّم التعلّم هو تنشئة مزاج يمكّننا من الاستمرار بالتعلّم والابتعاد عن المزاج الذي يعيق التعلّم.

### الجدول 1. مراحل التعلّم والأمزجة الموافقة لها.

المرحلة	السلوك	السلوك المزاجي
مبتدئ	الشخص يعلم عن المجال ويرغب في التعلّم. يصرح عن التزامه بتعلّم المجال. قادر فقط على تتبع القواعد التي يعطيها المعلم أو ممثل المجال. يجب أن يثق بالمعلم. يمكن أن يكون بطيئاً جداً ومتربداً أثناء التعلّم وتجريب القواعد الأساسية.	إيجابي: إعجاب (تساؤل)، طموح، تصميم، ثقة في القدرة على التعلّم. سليبي: الخوف من الإخفاق، عدم الراحة أو معرفة ما يجب فعله، غير صبور وبطيء جداً في الإنجاز. عدم الثقة في المعلم، الشعور بـ "يجب أن أتعلّم هذا" ولكن إحباط لدرجة أن الأمور الصغيرة لا تسير على ما يُرام.
مبتدئ متقدم	متألف مع الحالات الشائعة. يتعلّم ويطبّق الحكم والنصائح وقواعد الخبرة التي يجب استعمالها لدى ظهور أعراض معينة. ما زال يحتاج إلى مساعدة وهو أسرع من السابق في اكتشاف ما يجب فعله وفي تنفيذ الحركة.	إيجابي: طموح وتصميم سليبي: ملل، لا مبالاة، عدم الثقة
مقتدر	تعلّم معايير المجال، متألف مع كل الحالات الشائعة، الشخص يعرف ما يجب فعله فوراً. لا يحتاج إلى إشراف لتجنب الأخطاء الشائعة ولإرضاء الزبون. يطلب مساعدة حين يواجه حالات غير مألوفة.	إيجابي: طموح وتصميم. ثقة في الشبكة (المجموعة) وفي القدرة على السؤال وتلقّي المساعدة سليبي: القهر، القلق، عدم الأمان، عدم الصبر، الإحباط
مهني بارع	ابتكر مستوىً عالياً من المهارة التي تثير إعجاب الآخرين ومبادراتهم. يضع معايير جديدة للأداء.	إيجابي: طموح وتصميم وعناية وثقة سليبي: عدم الصبر، الإحباط، الغرور
خبير	لديه خبرة موسعة. يرى بسرعة حلول المشاكل التي تحيّر الآخرين. يجري البحث عنه معلماً، أو مديراً أو حلّال مشاكل.	إيجابي: ثقة وإعجاب وراحة نفسية. وطموح للحصول على الخبرة الرئيسية، والتصميم سليبي: غرور وعدم صبر
خبير متمرس	ابتكر نظرة عميقة عن المجال، ويعلم كيف يتدخل ليغيّر اللعبة التي يلعبها كل الآخرين.	إيجابي: إعجاب واستكشاف وطموح للمساهمة في المجال، وراحة نفسية سليبي: غرور واملل وعدم اهتمام

## الأمزجة والتقديرية التي تحجب التعلم

إننا نعمل مع مهنيين يريدون أن يتعلموا كيف ينشئون فرق عمل عالية الأداء. كجزء من التدريب، وضعنا فرق العمل، عمداً، في مواقف عليهم فيها تعلّم شيء جديد [5]. اخترنا لعبةً من الحقيقة الافتراضية اسمها "عالم المعدات الحربية (World Warcraft)" لأنها تتضمن عدة طلبات تختبر قدرة الفريق على التنسيق. القليل جداً من الفرق لعبوا هذه اللعبة من قبل. لذلك، جرى تصنيف معظمهم "مبتدئين" لا يعلمون شيئاً عن اللعبة. لم يكن بإمكانهم تحريك لاعبيهم حتى يطوروا حساسية اللمس على مفاتيح الحركة اليسارية. لم يستطيعوا حالاً سبر غور بنيان اللعبة المعقد غير الموثق أو فهم استراتيجيتها لاستكمال الطلبات. في مثل هذه الحالة تتوقع منهم أن يطلبوا المساعدة من المدرب الواقف إلى جانبهم أو من زملائهم الذين يمكن أن يعرفوا أكثر منهم. ومع ذلك، غالباً لا يحدث هذا. إنهم تخبب آمالهم، ويرتّبون ثم يستسلمون. ولدى استجوابهم بعد أن قاموا بفعلهم، سألتناهم عن مزاجهم، وتحريّنا عن افتراضاتهم الخفية. لقد سمعنا تقديرات من نمط:

- إحباط: أريد أن أساهم مع الفريق ولكن ليست لدي فكرة عمّا يجب فعله. لا أضيف أي قيمة للفريق.
- ارتباك: لم أفهم اللعبة. إنها طريق معقدة جداً. إنه أمر سيئ ألا نفهمها فهماً صحيحاً. لا أحب هذا.
- استسلام: لا أرى أهمية كوني جزءاً من هذا الفريق لأنني لم أفهم هذه اللعبة. لن أتمكن من فهمها إطلاقاً.

بين الفينة والأخرى، يحدث أن يضم الفريق لاعباً خبيراً. قد تتوقع أن يحرز فريقهم تقدماً أفضل من الآخرين. ولكن غالباً ما يحدث العكس تماماً. لا يستطيع اللاعب الخبير أن يتوقف عن إخبار كلّ من الأعضاء الباقين عمّا يجب فعله. الكثير من أعضاء الفريق يأخذون على الخبير عدم إعطائهم فرصة التعلّم بأنفسهم. قليل منهم ينتظر طواعيةً أن يخبرهم بما يجب عليه فعله-مقابل عدم حركتهم حين يواجهون حالة غير مألوفة.

أثناء جلسات الاستجواب، ساعدنا أعضاء الفرق على اكتشاف ما يمنعهم من طلب المساعدة. لقد كانت تقديراتهم الخفية، في غالب الأحيان، أشكالاً من التقديرات الخمسة التالية:

- من المهم أن تكون مقتدرًا.
- من المهم أن تكون فعالاً وتتجنب الصّياح.
- من المهم أن تكون مستقلاً وتعتمد على نفسك.
- من المهم أن تكون نافعاً.
- من المهم أن تكون جاهزاً في كل الأوقات.

في كل حالة من الحالات السابقة، يحكمون على أنفسهم بأنهم غير قادرين على القيام بهذه الأشياء الهامة. إن مساعدتهم على اكتشاف هذه التقديرات ثم تفحص المعايير التي تسيطر عليهم هو خطوة كبيرة نحو تمكينهم من تطوير مهارة تعلّم التعلّم.

## التنقل في الأمزجة

على جميع الفرق أن تتعامل مع المخاطر والشك. لكي تكون متعلماً فعالاً في مثل هذه الحالات، عليك أن تتعلم شيئاً: أولاً، أن تحدد المزاج الذي أنت فيه، ثانياً، أن تنزاح إلى الأمزجة التي تجعلك منفتحاً على التعلّم. يعطي الجدولان 2 و 3 أمثلة

على الأمزجة المنتجة وغير المنتجة من أجل التعلّم [1,2,6]. يمكنك تعرّف المزاج من تقديراتك عن العالم من حولك. على سبيل المثال، إذا كنت تشعر بالروعة والحماسة تجاه ما يجري حولك فأنت في مزاج الإعجاب. وإذا كنت لا ترى أي إمكان للتقدم فأنت في مزاج الاستسلام.

### الجدول 2. الأمزجة التي تدعم التعلّم.

المزاج	التقديرات المترافقة
الطموح	أنا حقاً أريد هذه النتيجة. أنا متأكد أنني سأنجزها. أتعهد بإنجازها.
الثقة	أنا أوّمن بإمكاناتي لإنجاز أهدافي. لقد قمت بهذا من قبل ويمكنني القيام به ثانية. أعلم ممّن يجب أن أطلب المساعدة ومن سيعتني بي.
الحيرة	أنا غير قادر على معرفة ما يجري لكنني مهتم، وسأبقى أبحث حتى أكتشف ما يجري.
التصميم (القرار)	لقد صممت أن أجعل هذا يحصل، أياً كان.
الراحة النفسية، القبول	إنني أقبل بأنني لا أملك التحكم بالماضي الذي حدث. وأقبل أن المستقبل مملوء بالمفاجآت التي لا يمكنني التنبؤ بها. إنني ممتن للحياة.
الثقة والأمان	إنني أتعلم من أناس ذوي خبرة يهتمون بي. أعلم أنهم قديرون ومخلصون حين يعدونني. أوّمن أن اهتماماتي في قلوبهم.
الإعجاب	لا أدري ما يجري ولكنني أحبه. لا يوجد إمكانات كثيرة للتعلّم أكثر.

إن مهارة الملاحظة لتحديد المزاج والتخلّي عنه تتبع تطور دريفوس (Dreyfus) تماماً مثل أي تطور مهارة آخر. يتعلم المبتدئ أسماء الأمزجة والحوارات التي تميّز كلاً منها. يتعرّف المبتدئ المتقدم الأمزجة بسهولة أكثر من المبتدئين ويستطيع تغييره. أما المقتر فيستطيع بسهولة تحديد الأمزجة غير المنتجة ويستطيع عادة تغييرها (التخلّي عنها) إلى الأمزجة المنتجة وحده أو بوجود مساعدة.

يتطلب تغيير الأمزجة التفكير والممارسة معاً لأنك قد تضطر إلى أن تنسى بعض العادات التي تكونت لديك للتعامل مع مختلف الحالات. لقد وجدنا أن طرح أربعة أسئلة والتفكير بإجاباتها يمكن أن يفتح الباب على تغيير الأمزجة. ننصح بأن تعدّ هذه الأسئلة الأربعة بمساعدة أستاذ أو زميل في الفريق. مع أنه يمكنك القيام بهذه الأسئلة بنفسك فقد وجدنا أنه يمكن لمراقب مختلف أن يساعدك في كشف التقديرات الخفية والمعايير والعادات على نحو أسرع. هذه الأسئلة هي:

- ماهي أمزجتي وتقديراتي في هذا الموقف (هذه الحالة)؟
- ماهي معايير التي أنتجت هذه التقديرات؟
- ماهي عاداتي لتبقيني متوافقاً مع هذه المعايير؟
- لماذا يهمني تحقيق أهدافي التعليمية؟ وماذا سيكون بإمكانني أن أفعل إن واطبت على التعلّم؟

## الجدول 3. الأمزجة التي تحجب التعلم.

المزاج	التقديرات المترافقة
اللامبالاة	أنا حقيقةً لا أهتمّ بهذا. ولا أرى سبباً للتجريب
الغرور والغطرسة	إنني أعرف هذا الآن. لا شيء جديد بالنسبة لي هنا. كان عليهم الإصغاء إليّ. لست بحاجة إلى الإصغاء للآخرين لأنّ ما عليهم قوله لا علاقة له بالموضوع.
الملل	هذا مملّ تماماً. مضيعةٌ للوقت. لا جدوى حتى من التظاهر بالاهتمام.
الارتباك	لا أدري ما الذي يجري هنا ولا أحبّه. سيئٌ أن تكون مرتبكاً. أخرجوني من هنا.
عدم الثقة، الشك	إنهم غير مخلصين أو غير قادرين. إنهم لا يتطلعون إلى مصالحي. هذا يمكن أن يعطي نتائج عكسيّة أو ألاّ يعمل.
الخوف والقلق	لا أدري ما الذي سيحدث. شيء سيئ سيصيني. سأأتذى إن أخطأت. من الأفضل ألاّ تفعل شيئاً عوضاً عن المحاولة والإخفاق.
الإحباط	ما زلت أحاول وأخفق. لا يمكنني القيام به بالسرعة الواجبة. ولن تسير الأمور كما يُتَوَقَّع لها.
عدم الصبر	هذا يضيع وقتي. لا قيمة لهذا. دعنا نغادر الآن.
عدم الأمان	ليست لديّ ثقة بنفسني، لا يمكنني فعل هذا. لستُ جيداً بقدرٍ كافٍ لأكون هنا. سينتقدني الناس.
الفهر	إن الكَمّ الهائل لما يجري كثيرٌ عليّ. لا أستطيع إيجاد طريقة للتقدّم، باستثناء العمل بجدّ وتوقّع الفشل.
الاستسلام	لا يوجد أي إمكانات لحلّ الموضوع. يستحيل أن أكون قادراً على فعل هذا. لقد رأيت هذا يحدث مرارٍ ومرارٍ في الماضي. لن يحدث شيءٌ جديد. لا فائدة من التجريب.

من المهم أن نلاحظ، في هذا التحقيق، أن الأمزجة تختلف عن العواطف. تأتي العواطف في "مقدمة (صدارة)" الأحداث التي نشعر بها كإحساس، مثل الغضب حين نتعرض للإهانة أو الفرح عند رؤية ابتسامة طفل. الأمزجة هي "في الخلفية" إنها أشبه بالجو، المشبع ببخار تاريخنا وتجاربنا، الذي تُفَضِّح فيه الأشياء والإمكانات في حالتنا. بإمكاننا تقريباً دائماً أن نحدد الحادثة التي أثارت عاطفةً لدينا، إلا أننا نادراً ما نلاحظ أمزجتنا. إنها تقديرات آلية تفتح لنا إمكانات أو تغلقها خارج نطاق وعينا.

أحياناً، تكون الأمزجة مؤقتة ويمكن التخلّي عنها بسهولة. على سبيل المثال، يمكنك أن تكون في مزاج الاستسلام (لا يوجد إمكانات مرئية) ثم يأتي قريب أو معلم أو مدير يريك إمكانات جديدة تكسر المزاج. أحياناً يحصل مزاج سائد (عام) حين تكتشف معياراً مخبأً (مخفياً) وتقرر أن تغيره. ومع ذلك، فإن بعض الأمزجة هي ميول اعتيادية مغروسة بعمق، تقودك إلى أفعال لا تقصدها. لقد تبنّيت مجموعة من الممارسات الشخصية التي تحافظ عليك متوافقاً مع معايير المخفية. إذا حاولت انتهاك الممارسة، فإنك تشعر بضيق شديد ولا تعلم حتى السبب. للتخلّي عن هذا المزاج البعيد المدى عليك أن تدرّب نفسك على ممارسات جديدة. وهذا يمكن أن يستغرق وقتاً.

## مثال: التفويض

لندرس مثلاً مهماً: التفويض. إنك تعتبر نفسك مفوضاً سيئاً، وترى أنك مع فريقك يمكن أن تنجزوا أكثر لو حصلت على تفويض أوسع. الآخرون، ومنهم المستثمرون المحتملون في شركتك يتفقون معك. ولكن، لسبب ما، لا يفوضون إليك، بالرغم من رغبتك بتعلّم ذلك. وفي تحرياتك عن الأسئلة الأربعة تكتشف أن لك الأمزجة التالية:

- عدم الثقة: أعضاء فريقك تنقصهم مهارات هامة؛ لا أجرؤ على التفويض.
- عدم الأمان: لو جرى التفويض إليّ، لا اعتقد أعضاء فريقك أنني غير قادر على معالجة الأمور بنفسك.
- الاعتزال: كل التفويضات التي جربتها أخفقت. ختاماً أقوم بالأمر بنفسك على أية حال.
- الإحباط: أودّ أن يعمل الآخرون بنفس الجودة التي أعمل بها، ولكن لا يبدو أنّ هذا سيحصل. عليّ إذن أن أقوم بالأمور بنفسك ولن أدع الآخرين يقومون بالأشياء التي تهمني حتى وقت لاحق.
- القهر: عليّ القيام بالكثير. ليس لدي وقت لانتظار أشخاص آخرين ليقوموا بما أحتاجه منهم. عليّ أن أقوم بكل هذا بنفسك وأمل أن أتمكن من استكمال كل شيء. لا أحد يمكنه مساعدتي.

حين تفكر بهذه الأمزجة تكتشف أنك قد حصلت المعايير التالية:

- القائد يجب أن يكون قديراً كل الوقت. لذلك يجب أن أكون قديراً كل الوقت.
- إذا فوّض القائد وأخفق الفريق فهذا ذنب القائد. التفويض إلى الناس الذين هم أقل كفاءة مني أمرٌ محفوف بالمخاطر. ربما أصبح خارج العمل أو أطرّد.
- إذا لم يكن الفريق على قدر المهمة، فعلى القائد أن يتدخل. إذا لم يتمكن الناس من الإنجاز بحسب توقعاتي وعليّ أن أقوم بالعمل وأنفذ المشروع.

من هذا التفكير، تكتشف أنك تتجنب التفويض بسبب المعايير التي حصلتها في الماضي.

بعد أن أصبحت مدركاً لهذه المعايير وللعتادات التي حصلتها لدعمها، كيف تغيّرها؟ ابدأ بالتركيز على السؤال 4 في قائمة الأسئلة الأربعة التي عرضناها سابقاً. لماذا يهّمك الوصول إلى أهدافك التعلّميّة؟ إذا فوّضت أكثر، فهل سيكون فريقك أقوى؟ هل سيكون لديك وقتٌ أكثر لتركز على المواضيع الاستراتيجية التي تهّم فريقك مع الزمن؟ هل سيرغب الناس بالانضمام إلى فريقك بسبب النموّ المحتمل؟ سيساعدك الجواب عن هذه الأسئلة على حصاد مزاج طموح بشأن فوائد التفويض أشدّ فعاليةً. ويمكنك مدعوماً بطموحك، عقد العزم على الشروع بعملية تعلّم التفويض. ستبدأ بالتفويض ومشاركة توقعاتك بشأن نجاح أعضاء فريقك. ستحتاج إلى حصاد بعض الصرامة العاطفية خلال مدة التعلّم لأنّ هذه المدة لن تكون مريحة لك - ولكنك واثق من أن تعلّم التفويض بفعالية أشد، وجعل الآخرين يزيدون مسؤولياتهم، كلّ هذا جيدٌ لك وللفريق وللشركة. وإذا لم ييسر أحد التفويضات على ما يُرام، فإنك ستأخذ وقتك في تقويم سبب عدم نجاحه، ستتكلّم إلى الشخص المعني به، وستحاول ثانيةً، إلى أن تحصل على نتائج ناجحة. بكلمات أخرى، فإنك بحصاد أمزجة الطموح والتصميم بدأت تتباعد عن الأمزجة التي تحجزك (تمنعك) عن تعلّم التفويض، وأعطيت نفسك الوقت والممارسة اللازمين للوصول إلى هدفك في تعلّم التفويض.

## النتيجة

حين نكون محجوزين عن التعلّم، فثمة فرص لأن يكون هذا الحجز نابغاً من تقديرات ومعايير داخلية مخفية، وليس من عوامل خارجية في المحيط من حولك. إن تعلّم التعلّم مهارة يمكننا بها تعرّف الأمزجة المسيطرة غير المنتجة، والتخلّي عنها إلى المنتجة. يستدعي هذا التخلّي، في كثير من الأحيان، الاحتفاظ باستجاباتنا الآلية إلى حالات التعلّم. ربما كانت الناحية الأكثر أهمية (أساسية) في تعلّم التعلّم هي تعلّم الانفتاح على التعلّم. حين نكون مبتدئين، يُحتمل أكثر أن نتعلم إذا كنّا منفتحين ولدينا فضول، وكنّا في مزاج التساؤل عمّا لا نعرف. بالمقابل، يعاني المبتدئون، في كثير من الأحيان، من مزاج الإحباط وعدم الأمان والارتباك والقلق والاستسلام – أي الأمور التي تمنع التعلّم. في تلك اللحظات، من المهم التفكير فيما يمكن أن يكون قد حفّز هذه الأمزجة، بحيث يمكننا البحث عن الأفعال التي يمكن أن تزيح هذه الأمزجة، وتسمح لنا باستمرار التعلّم. إن جزءاً من عملية التعلّم يتطلب منا تطوير صرامة عاطفية، تجعلنا نتحمل عدم الارتياح الناجم عن الأخطاء وعن تغيير أنماط العادات. فإذا قمنا بهذا، فسيكون من المحتمل أكثر الوصول إلى أهدافنا التعلّمية النهائية.

## المراجع

- [1] Denning, P. Moods. *Commun. ACM* 55, 12 (Dec. 2012), 33–35.
- [2] Denning, P. Moods, wicked problems, and learning. *Commun.* 56, 3 (Mar. 2013), 30–32.
- [3] Dreyfus, H. *On the Internet*. (2nd ed. 2008), Routledge, 2003.
- [4] Dreyfus, S.E. and Drefus, H.L. A five-stage model of the mental activities involved in directed skill acquisition. *Storming Media*, 1980; <http://www.stormingmedia.us/15/1554/A155480.html>
- [5] Flores, G. *Learning to Learn and the Navigation of Moods*. Pluralistic Networks Publishing, 2016.
- [6] Flores, F. and Flores Letelier, M. *Conversations for Action and Collected Essays*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013.
- [7] Friedman, T. *The World Is Flat*. (3rd ed.), Picador, 2007.
- [8] Spear, S. *The High-Velocity Edge*. McGraw-Hill Education, 2010.

## المؤلفان

**بيتر جي ديننغ** (Peter J. Denning) (pjd@pns.edu) هو محاضر متميز في علوم الحاسوب وهو مدير معهد سيبروفسكي (Cebrowski) لابتكار المعلومات في مدرسة خريجي البحرية Naval Postgraduate School in Monterey, CA ومحاضر ACM Ubiquity، وهو رئيس سابق لـ ACM.

**غلوريا فلوريس** (Gloria Flores) (gloria@pluralisticnetworks.com) هي مؤسس شريك ورئيسة شركة Pluralistic Networks، ومشاركة في تصميم Working Effectively in Small Teams (WEST)، وهي دروس مكثفة على مدى أربعة شهور مصممة لتمكين المشاركين من تطوير مهارات تمكّنهم من العمل بفعالية أشد ضمن الفرق: تنسيق الأفعال، الإصغاء، بناء الثقة، وإدارة الأمزجة.

# استشرافاً للسياسات والآثار الاجتماعية

## لتشبيك المعطيات المسماة

### ANTICIPATING POLICY AND SOCIAL IMPLICATIONS OF NAMED DATA NETWORKING\*

Katie Shilton, Jeffrey A. Burke, Kc Claffy, Lixia Zhang

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

#### الآثار الاجتماعية لبنیان إنترنت مستقبلي مقترح.

باتت الإنترنت منصّة مهمة لمختلف الفعاليات الاقتصادية والسياسية والثقافية والاجتماعية. وما برحت التقانة التي

تقف خلف الإنترنت ماضيةً في التطور والنماء  
بشئى تداعياتها، التي لا تتعلق بالتقانات التي  
تحكم وظائف الشبكات والتطبيقات فحسب، بل  
بالتوجّهات الاجتماعية والاقتصادية والقانونية  
كذلك. ولا يقتصر تأثير بروتوكولات الإنترنت في  
الأداء الأساسي لخدمات الإنترنت وموثوقيتها، بل  
يمتدّ إلى المناقشات التي تتناول مسائل المشروعية  
في إيصال المحتوى (content delivery)، وحرية  
التعبير، والثقة والأمن السيبري  
(cybersecurity)، والخصوصية والملكية  
الفكرية، والتحكّم في المحتوى.

تدرس هذه المقالة بنیان إنترنت مستقبلياً

#### أفكار رئيسية

- تشبيك المعطيات المسماة (NDN) هو بنیان إنترنت مستقبلي مقترح يغيّر البروتوكولات التقنية الداعمة للتطبيقات، وتترتب عليه آثار في الجوانب الاجتماعية والاقتصادية وتلك التي تتناول رسم السياسات، للنظام البيئي للإنترنت اليوم.
- تطول هذه الآثار مجموعة من الأطراف المعنية مثل: منتجي المحتوى، والمستهلكين، والمنظّمين، ومشغلي الشبكات فيه.
- فللمستهلكين، يستطيع تشبيك المعطيات المسماة توسيع خياراتهم في حرية التعبير، والأمن، والخصوصية، وإغفال الهوية، في حين يثير تحديات جديدة تتصل بالاحتفاظ بالمعطيات ونسيانها. أما للحكومات وصناعات المحتوى، فيثير هذا التشبيك تحديات واحتمالات جديدة للتحكّم في المحتوى، ولضمان الحيادية في أنحاء الشبكات العامة.

\*نشر هذا البحث في مجلة Communications of the ACM، المجلد 59، العدد 12، كانون الأول (ديسمبر) 2016، الصفحات 92 – 101.

مقترحاً من شأنه أن يغيّر طريقة إيصال المعطيات على الإنترنت. وتشبكيك المعطيات المسماة (Named Data Networking (NDN))<sup>a</sup> مثالٌ بارزٌ ضمن مجال البحث الأرحب، المتمثّل في التشبكيك المتمركز حول المعلومات (information-centric networking (ICN)). وليس في وسعنا أن نتنبأ تماماً كيف أن نتائج السياسات تتغير بتغيير البروتوكولات: فالآثار الاجتماعية للتقانة تنشأ عن مزيج متساندٍ من القرارات التقانية، وقرارات المستعملين، والسياقات الاجتماعية والسياسات [4، 24]. على أننا لو أخذنا بقوة الفكرة القائلة بأن القانون المعمول به يصوغ الحقوق والسلوك والإدارة [16، 22]، إذن لأدركنا أن تحليل الكيفية التي سيعتمدها تشبكيك NDN لتغيير ذلك القانون - الذي يؤلّف البنية الأساسية التقنية التي نعتمد عليها يومياً - هو تحدّي حقيقيّ خطير.

تتناول المقالة هذا التحديّ عن طريق إطلاق نمطٍ تخاطبيّ للآثار الاجتماعية لتشبكيك NDN، مع تركيزٍ خاصٍ على مُنتجَي المحتوى (content producers) والمستهلكين (consumers). فوصفنا وحدات بناء تشبكيك NDN؛ وذكرنا أنّ تبادل المعطيات فيها، القائم على الطلب والاستجابة (request-response)، يصدّر عن الوب، لكنه يعمل عند مستوى أكثر عمقاً ضمن كدسة البروتوكولات (protocol stack). ويستعمل تشبكيك NDN أسماء معطيات للتوجيه (routing) والإحالة (الإمرار) forwarding، ويقدم بصمات معطيات على مستوى الرزم، ويعزز الخزّن داخل الشبكة (in-network storage)<sup>b</sup>. ثم عرّضنا تصوّراً (سيناريو) نمثّل فيه تفاعلات وحدات البناء هذه فيما بينها، ونوضّح كيف تستطيع التغيّرات المقترحة أن توسّع نطاق خيارات حرية التعبير (free speech) والأمن والخصوصية (privacy) وإغفال الهوية (anonymity)، في حين تثير تحدياتٍ جديدةً لجهة الاحتفاظ بالمعطيات ونسيانها. وسنبحث فيما يترتب على الحكومات وصناعات المحتوى من آثارٍ ناجمة عن تغيير طريقة تعرّف المعطيات المشبّكة (networked data) ومعالجتها وتوجيهها، إضافةً إلى استقصاء ما تثيره هذه التغيّرات من تحدياتٍ واحتمالاتٍ جديدةٍ لضمان الحيادية (neutrality) في شتى أنحاء الشبكات العامة. وبالإجمال، فإن هذه الدراسة التحليلية الاستشرافية تطرح قضايا للبحث ومساحاتٍ للتركيز التقني على الفعاليات البحثية المتواصلة صُعُدًا في مضمار تشبكيك NDN، وتعيّننا على إدراك أفضل للتّبعات المحتملة للتشبكيك المتمركز حول المعلومات.

### المكوّنات البنائية الأساسية لتشبكيك NDN

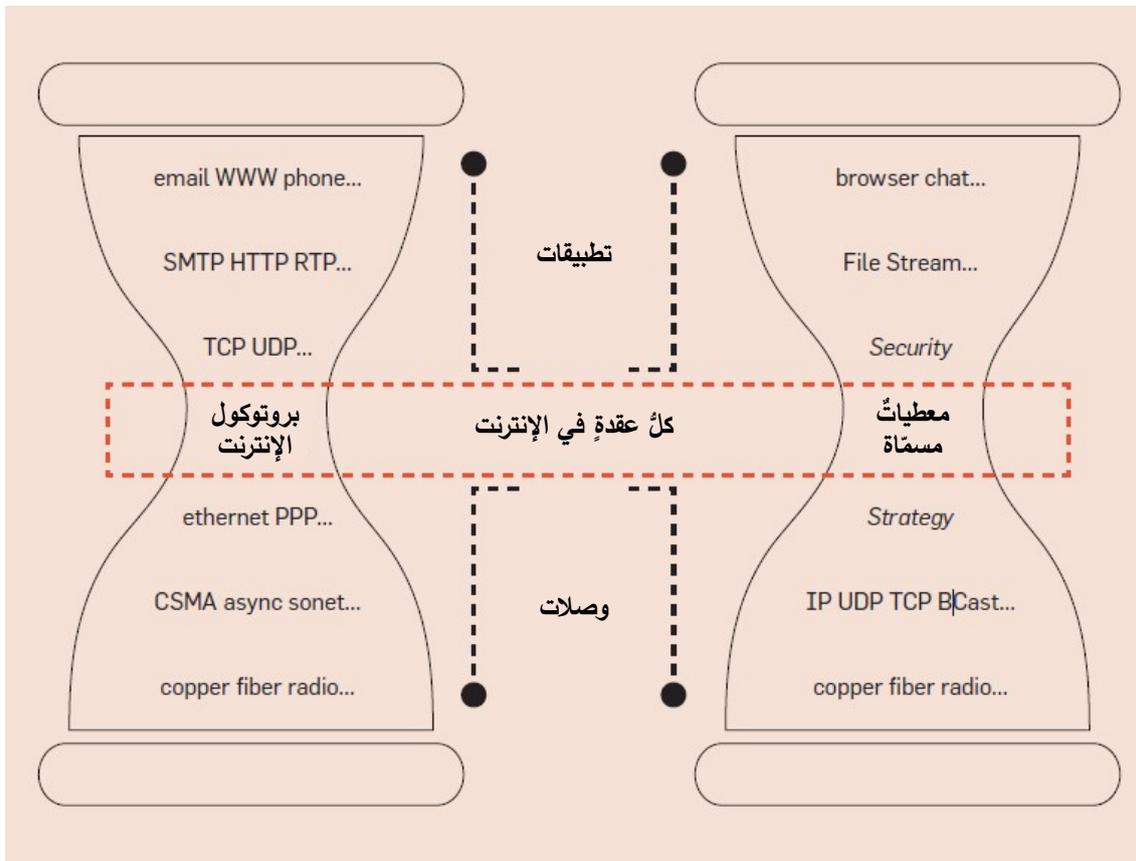
يقوم فريقٌ عملٍ يقوده ثلّة من الباحثين الرّئيسيين من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس، ويضمُّ باحثين مشاركين وأعضاءً من هيئة العاملين وطلبةً من معاهد أمريكية ومتعاونين دوليين<sup>c</sup>، بتصميم وتقييم تشبكيك NDN، الذي قد يصلح طبقةً قاعديةً جديدةً للإنترنت (انظر الشكل 1). ومن المعلوم أن بروتوكول الإنترنت (Internet Protocol (IP)) يعتمد اليوم على عناوين المضيفات (host addresses) لتوجيه الرزم في أنحاء الشبكة. وفي المقابل، يقوم تشبكيك NDN بإيصال المعطيات استناداً إلى أسماء المعطيات مباشرةً دون استعمال عنوان المضيف للمصدّر أو للوجهة. فبدلاً من إرساله الرزم اعتماداً على مكان (where) بروتوكول الإنترنت، فإنه يركّز على الماهية (what): أي على المعطيات المسماة نفسها. ويقوم تشبكيك NDN على أربعة مكوّناتٍ بنيانيةٍ أساسيةٍ لتحقيق إيصال مأمونٍ وفعالٍ للمعطيات: الأسماء، وتبادل المعطيات بناءً على

<sup>a</sup> سأكتفي بعد الآن باسمه المختصر (تشبكيك NDN). (المترجم)

<sup>b</sup> يُنقَدُ الكثيرُ من هذه التقنيات في طبقة تطبيق الإنترنت، فيتولى تشبكيك NDN تعميلها عند طبقة الشبكة، التي تحمل التطبيقات على التلاؤم معها.

<sup>c</sup> للاطلاع على قائمة كاملةٍ بالمشاركين والمسهمين، انظر موقع تشبكيك NDN على الوب: <http://named-data.net/>

طلب/استجابة، وبصمات المعطيات، والخزّن ضمن الشبكة، وهي مذكورة بشرح ضافٍ في المرجع زانغ (Zhang) [31].  
 الأسماء: صُلب تشبيك NDN. في تشبيك NDN، تسمّي التطبيقات المعطيات عند خُبْيِيَّة الرُّم (packet granularity)؛ فالتعبير /edu/ucla/cs/CS217/video1/v2/s3/ مثلًا قد يعني: المقتطع 3 من الإصدار 2 للفيديو 1 الصادر عن مدرّس الدورة CS217 في فضاء الأسماء الذي أتاحتها جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس<sup>d</sup>. ويفترض تصميم تشبيك NDN أن الجهات المبتكرة للتطبيق ستضع اصطلاحات تسمية قياسية من قبيل تنظيم إصدارات المحتوى (content versioning) والاقطع (segmenting)، تعزيزًا للتشغيلية التبيئية (interoperability) وإعادة استعمال الرّماز (code reuse). ويدعم التشبيك NDN أيضًا بِنَى الأسماء التراتبيّة (hierarchical name structures) تسهيلًا لإدارة الثقة (trust management) والتوجيه المتصدّد (scalable routing)، على غرار ما يحصل عندما يفعل التحصيل لعناوين IP التراتبيّة (hierarchical IP address allocation) التصدّد الشموليّ للتوجيه في الإنترنت (global scaling of Internet routing). أما الأسماء المتفرّدة على المستوى الشمولي (globally unique names) فتتطلّب تسيّفًا في الإدارة والضبط<sup>e</sup>،



الشكل 1. تشبيك NDN (يمينًا) يحلّ محلّ "الوسط الضيق" للإنترنت؛ البروتوكول السائد في هذا التصميم هو تبادل رُزم معطيات مسماة وموقّعة بدلًا من رُزم بروتوكول الإنترنت (يسارًا).

<sup>d</sup> تعرّض أمثلتنا أسماء NDN، تراتبيّة، مقروءة بشريًا، مع أن البنيان يدعم متتاليات بايتاتٍ كيميّة.

<sup>e</sup> كما أن ضبط عناوين IP ليس جزءًا من بنيان IP، كذلك فإن ضبط فضاء الأسماء الشمولي ليس جزءًا صريحًا من بنيان NDN.

على أن البنيان يدعم أيضاً الأسماء المحليّة الخاصة بالاستعمال المحليّ (ما يشير مثلاً إلى "مفتاح الكهرباء في هذه الغرفة"). ففي حين يعتمد الاتصال في تشبيك NDN بكماله على أسماء المعطيات، تتفاوت آليات عمل الأسماء تبعاً لسياق التطبيق.

**تبادل المعطيات بطريقة طلبٍ واستجابةٍ لإيصال متعدّد الجهات.** يُملّي تشبيك NDN استعمالَ نموذج اتصالٍ بحلقةٍ مغلقة (closed-loop communication model)، قائمٍ على الطلب والاستجابة رُزْمَةً فُرُزْمَةً (packet-by-packet) (الشكل 2). وهذا النموذج يشبه نظام الدلالة في الوب (Web semantics) ولكن عند حُبْنِيَّةٍ على مستوى الرزمة. ترسل مستهلكة رزمةً من النوع Interest<sup>f</sup> تحدّد فيها اسم المعطيات التي ترغب في تسلّمها. ولإجابة هذا الطلب قد تكون موجّهات تشبيك NDN قادرةً على استعمال معطياتٍ محفوظةٍ في خابية، علماً بأن جميع المعطيات التي عبّرت سابقاً أحد موجّهات تشبيك NDN يمكن أن "تُخبأ" في مخزن المحتوى. (يُذكر هنا أن لموجّهات IP أيضاً أصونّة رُزْمِيَّة (packet buffers) ناشئة عن التضميم الإحصائي (statistical multiplexing)، بيّد أن الرزمة المصنّونة تُفصل عن الصّوان فور إحالتها إلى الوجهة المقصودة). وإذا تعدّرت إجابة الطلب بالمعطيات المستمّدة من مخزن محتوى عقدةٍ من عُقد تشبيك NDN، حدّدت قاعدة إحالة رُزْم Interest في العقدة (Forwarding Interest Base (FIB)) وجهة إرسال الرزمة. وتتخذ العُقْد أسلوب المطابقة بأطول سابقه (prefix) بغية مطابقة أسماء المعطيات المطلوبة في رُزْم Interest مع أسماء المعطيات في مخزن المحتوى، ثم إحالة هذه الرُزْم باتجاه العُقْد التي سجّلت سوابق أسماء معطياتٍ مماثلة للإحالة في بروتوكول IP.

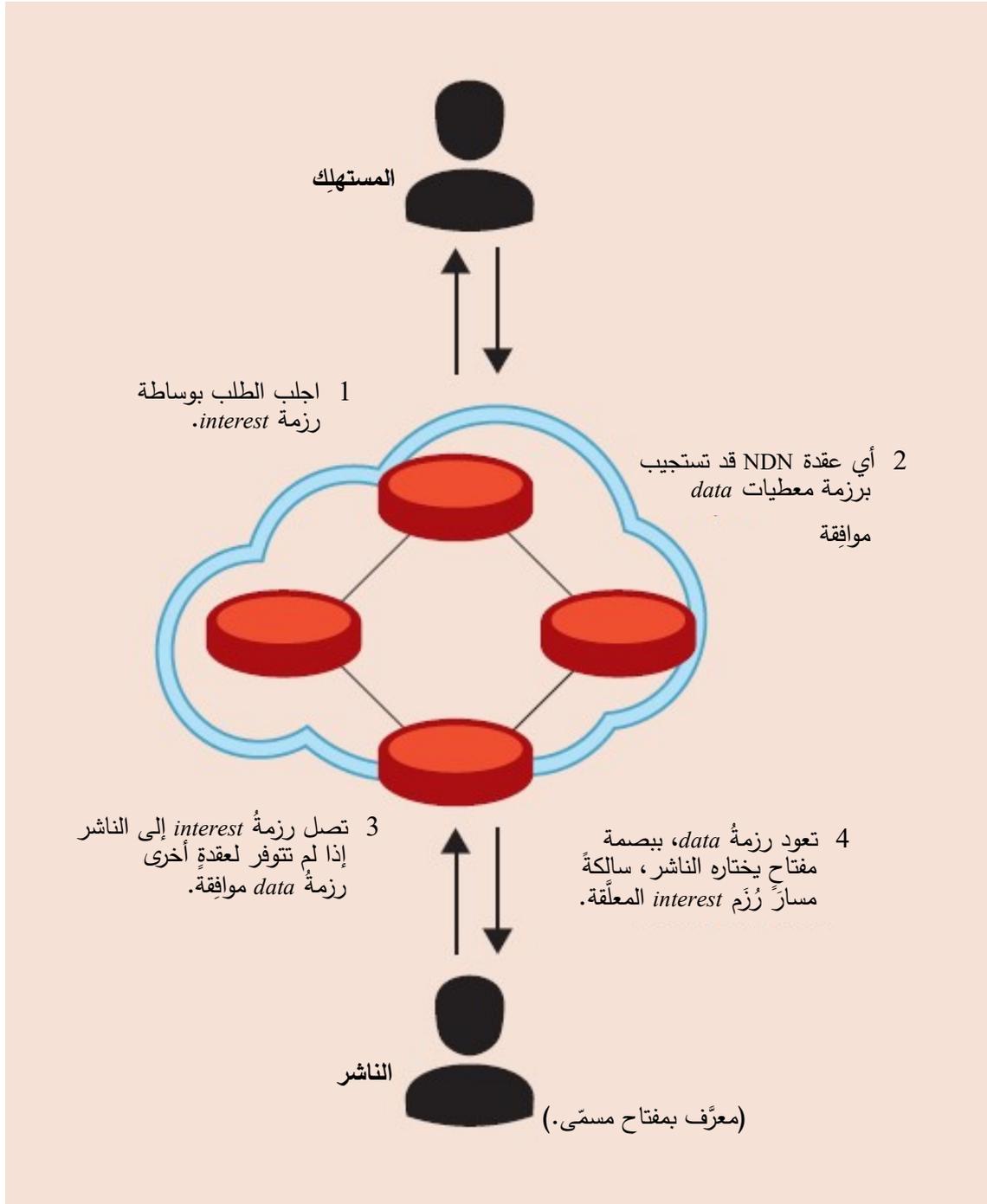
كذلك تستعمل كلُّ عقدةٍ ما يسمى جدول رُزْم Interest المعلّقة (Pending Interest Table (PIT)) لتسجيل الواجهة التي تلقّت منها رزمة Interest. والجدول PIT هذا، خلافاً لقاعدة الإحالة FIB ومخزن المحتوى، هو في الأساس كيانٌ جديدٌ لا نظير له في IP. تقوم مداخل PIT بنتجّع مسار رُزْم Interest المُحالة، لتمكين إعادة المعطيات إلى المسار الذي اتّخذته الرُزْم؛ فيسجّل كلُّ مدخل PIT اسم المعطيات المطلوبة، والواجهة (أو الواجهات) الواردة من رُزْم (أو رُزْم) Interest، والواجهة (أو الواجهات) الصادرة التي أحييت إليها الرُزْم. وهكذا يُحدّث انتشار هذه الرُزْم أثراً منسحباً من "فتات الخبز"، قفزةً فقّرة، رجوعاً إلى المستهلك على كلّ مسلكٍ تتّخذ رُزْم Interest. فعندما تصل الرزمة إلى العقدة مع المعطيات المطابقة لها، تستجيب العقدة برزمة معطياتٍ تُحال رجوعاً على امتداد الأثر المنسحب، مستنفذةً (بالحذف مثلاً) فتات الخبز في الجدول PIT على طول الطريق.

يتيح نموذج الطلب والاستجابة لتشبيك NDN تنفيذ عمليةٍ متأصلةٍ لإيصالٍ للمعطيات متعدّد الجهات، في حين أن الطلبات المقتصرة على رزمة المعطيات نفسها من عدّة مستهلكين تسقط في مدخل PIT وحيدٍ عند جريانها خلال الموجّه ذاته. فلو أن موجّهًا تلقّى رُزْم Interest باسمٍ واحدٍ من خمسٍ من واجهاته، لأحال الموجّه الرزمة الأولى فقط لذلك الاسم، مسجلاً الواجهات الواردة للرُزْم الأخرى في جدول PIT الخاص به. ولدى عودة رزمة المعطيات الموافقة، يعيد الموجّه تلك المعطيات المطابقة إلى الواجهات الخمس جميعاً.

وتمكّن حالة الجدول PIT من التحكّم في جمّل حركة السير (traffic load)، وذلك بتقييد عدد رُزْم Interest المعلّقة لتحقيق التوازن في الجريان (flow balance). (يكفي اجتياز رزمة Interest واحدة ورزمة معطياتٍ واحدةٍ لأيّ وصلّةٍ لإجابة جميع الطالبين). وتُستعمل حالة PIT أيضاً للتخفيف من وطأة هجمات رفض الخدمة الموزّع (distributed denial

<sup>f</sup> يُدّنت بحرف كبير تمييزاً لها من النوع الآخر لرُزْم بنيان NDN، وهو Data packet. (المترجم)

(of service (DDoS) attacks)، عن طريق فرض قيودٍ علويّ على عدد مداخل PIT المتاحة. تجدر الإشارة إلى أن شبكة NDN خلوّ من الحلقات (loop-free)، لأن كلّ عقدة فيها تحتفظ بمدخلٍ لكل رزمة Interest غير مبنوت بها في جدول PIT الخاص بها، وتكتشف المكررات (duplicates) وتتجّها. تقوم كلّ عقدة بإحالة



الشكل 2. تبادل المعطيات القائم على الطلب والاستجابة.

رزمة Interest إلى عدّة عُقدٍ منبع (upstream nodes) في وقتٍ واحد، وتُستعمل حلقة التغذية الراجعة (feedback loop)، التي تُحدّثها بنية الطلب/الاستجابة، لتقويم أداء إيصال الرُّزم في أنحاء وأجهاتها - مثلاً: نُدّية شبكات مختلفة مع موجّه، أو وصلات لاسلكية مختلفة على هاتفٍ جوّال.

**بصمات المعطيات التماساً للأمن وتوثيقاً من الأصالة.** لتشبيك NDN خاصيةً أخرى أساسية هي استعماله بصماتٍ معمّاة داخل رُزم المعطيات؛ فهو يقضي بأن تُبصم (تُوثق) كلُّ رزمة معطياتٍ بمفتاحٍ يوثق المحتوى باسمه. ويقوم حقلٌ تحديد مواقع المفاتيح (key locator field) بترميز اسم مفتاح بصمة الرزمة، علماً بأن تشبيك NDN لا يُملّي على التطبيق الاستهلاكي (consuming application) كيف يقدر: هل يثق بالمفتاح أم لا. ومن شأن هذه المقاربة/المتكيفة حول المعطيات (data-centric approach) أن تصون<sup>g</sup> رزمة المعطيات بمعزلٍ عن طريقة نقلها، مقارنةً بالانماذج المعتمّدة على القنوات من مثل SSL/TLS<sup>h</sup> المستعملة في الإنترنت حالياً.

وثمة جانبٌ ناشطٌ للبحث العلمي يركّز على تعريف مجموعةٍ من نماذج الثقة (trust) المتعارفة، يمكن أن يختار منها مطوّرو التطبيقات. ففي إطار نموذج ثقةٍ معيّن، تمكّن البصمات من تحديد منشأ رزمة المعطيات، وهي بمنزلة حجر الأساس للأمن في تشبيك NDN [21]، ويدخل ضمن ذلك التحكم في النفاذ المعتمّد على التعمية (encryption-based access control). ومن ثمّ فإن البصمة الصحيحة ذات المفتاح الموثوق هي مؤشرٌ قويٌّ إلى أن صفة المعطيات هي فعلاً ما وُصفت به، بقطع النظر عن مصدر استحضارها. يُشار هنا إلى أن فريق البحث في تشبيك NDN يُجري حالياً تجاربٍ على مجموعةٍ منوعةٍ من نماذج الثقة التراتبية (hierarchical)، والاستدلالية (evidentiary)، والقائمة على شبكة ثقة (web-of-trust)، التي تستعين بخصائص تشبيك NDN ابتغاءً لنشرٍ فعّالٍ للمفاتيح وتقويمٍ لعلاقات الثقة [29].

**الخزّن المتنوع والمتغلغل في طبقة الشبكة.** لما كانت تطبيقات تشبيك NDN لا تهتم بمصدر استحضار المعطيات المطلوبة، فإن أيّ عقدة NDN تستطيع إجابة رزمة Interest إذا ما توفّرت لها المعطيات الموافقة. ومن شأن هذه المزيّة أن تمكّن شبكة NDN من الاستفادة من أشكال الخزّن المتنوعة والمنتشرة بغرض إحداث تعزيراتٍ في الأداء والتّصعّدية (قابلية التصعّد) (scalability)، ومن شأنها كذلك أن توفّر الدعم للتشبيك المتسامح مع الأعطال (disruption-tolerant networking (DTN)). وتستطيع شبكات NDN إعادة نشر (republish) المعطيات من وسيطة الخزّن المحليّة لأيّ تجهيزٍ قريبة، واستعمال ذاكرة الموجّه على أنها خواصي معطيات، ونشر (deploy) خازناتٍ دائمة (مداومة) (persistent repositories) تعمل على أيّ محتوى لتشبيك NDN. وبهذه الوسائل، يوفّر تشبيك NDN خصائص مشابهةً لشبكات توزيع المحتوى<sup>i</sup> (content distribution networks (CDNs)) المستعملة اليوم، ولكن على نطاق طبقة الشبكة، ومن ثمّ فهي متاحةٌ بطرّادٍ للمعطيات كافةً، دون الحاجة إلى اتفاقاتٍ تعاقديةٍ بين منتجي المحتوى ومزوّدي شبكات CDN. ولا شك في أن هذا هو جانبٌ ناشطٌ من جوانب الاستقصاء؛ فمثلاً: يعكف فريق الباحثين في تشبيك NDN حالياً على استحداث بدئيات (primitives) جديدةٍ تتفاعل مع عقود الاسترداد (repos)، وتُدعم التزامن الفعّال فيما بين مجموعات

<sup>g</sup> تصون = to secure.

<sup>h</sup> SSL (Secure Socket Layer): طبقة القبس الأمين، TLS (Transport Layer Security): أمن طبقة النقل.

<sup>i</sup> تقوم خدمات CDN باستتساح المعطيات في أنحاء شبكةٍ مورّعةٍ جغرافياً، موصولةً بنظام إنترنت على بروتوكول إنترنت، بحيث ينقل المحتوى قريباً من تجمّعاتٍ عالية الكثافة من المستعملين، بغية توفير نفاذٍ للمعطيات على مساحةٍ أوسع (على نطاقٍ عالميٍّ في الغالب) أسرع من نموذج تضييف الوب (Web hosting model) التقليدي.

<sup>j</sup> repo = repurchase agreement: عقد يمنح البائع الحق في استرداد المُلْك عن طريق شرائه بشروط خاصة (معجم المورد الأكبر).

المعطيات المسماة [18].

تجتمع هذه المفاهيم التجريدية الأربعة وتتأثر لتؤلف شبكةً لتشبكي NDN. وتستوجب تسمية المعطيات تبادل معطيات الطلب/الاستجابة. أما المعطيات المسماة المخزونة فتفيد لطلبات مستقبلية، خلأفاً لُرزم IP ذات الوجهة المحددة. وإذ إن بالإمكان تقديم المعطيات من أي مكان، كان لا بدّ من توقيهها حمايةً لمنشئها وأصالتها، وحرصاً على سلامتها.

### حالة (سيناريو) لتشبكي NDN: إنترنت الأشياء

من حالات الاستعمال التي تصوّر الإمكانيات المحتملة لتشبكي NDN حالة إنترنت الأشياء (Internet of Things (IoT)). يتطلّع مفهوم IoT إلى أن تكون جميع التجهيزات، وكثير من الأغراض، قابلةً للتفعيل في الشبكة (network-enabled)، ومتمثلةً للسياق (context-aware) (بحدودٍ متفاوتة)، ومكاملة في أغلب الأحيان في تطبيقات الويب والأجهزة النقالة. ونحن، بتقديمنا لهذه الحالة - التي سنستعين بها مراراً حتى نهاية المقالة - نرمي إلى توجيه القراء إلى الطرائق التي تصوغ فيها التغييرات التقنية لتشبكي NDN مجموعةً واسعةً من القضايا الاجتماعية في بيئة تطبيقات واقعية.

ففي إنترنت الأشياء، توفر الأسماء أسلوباً أغنى وأكثر تنوعاً لعنونة ربما مليارات التجهيزات في شتى أنحاء العالم. ويتيح استعمال التشبكي بصماتٍ معماة لكل رزمة عاملٍ أمانٍ نفيماً يفتقر إليه بروتوكول الإنترنت. يؤهل تشبكي NDN "الأشياء" الموصولة بالإنترنت، وكذلك المعطيات التي تولدها وتستهلكها، لأنّ نُعنوانَ باسمٍ واحد أو أكثر من الأسماء المحددة بحسب التطبيق في طبقة الشبكة، دون الحاجة - في الأغلب - إلى مزيدٍ من البرمجيات الوسطى (middleware) أو العبارات [3، 8، 28]. فعلى سبيل المثال، يمكن استعمال اسم تطلقه الجهة الصانعة، مثل: /local/appliance/ kitchen/toaster/Black&Decker/<serial\_number> (أي: /محلي/أداة/مطبخ/محمصة خبز/بلاك وديكر/>الرقم التسلسلي) لعنونة أداة من أدوات المطبخ من تجهيزة أخرى في البيت الذكي نفسه. وقد تشكّل تلك الأداة في فضاء الأسماء في المصنع، وتستجيب لُرزم Interest في سابقة عنوان الأداة، وهي /local/appliance/ باستعمال خطّ تغذية (power line) أو واجهة لاسلكية. ويمكن، في سياق سيناريو بسيط، أن تُصدّر تجهيزات منزليةً أخرى (كهاتفٍ لمستعملٍ مثلاً) لُرزم Interest بانتظام. وقد تُستعمل لُرزم البادئة /local/appliance/ للكشف عن التجهيزة لدى قبسها أول مرة؛ وبعد ذلك يمكن استعمال اسمها الأكثر تحديداً لغرض التواصل المباشر. وفي هذه الحالة يتيح تشبكي NDN للتطبيقات استعمال طبقة الشبكة مباشرةً للكشف عن التجهيزات المجاورة في فضاءات الأسماء المعروفة هذه (مثلاً: /local/appliance/). دونما حاجةٍ إلى وصل التجهيزات بشبكة الإنترنت الشمولية. وفي الوقت نفسه، فهي تشارك بروتوكول طبقة الشبكة ذاته، شأن سائر تطبيقات الإنترنت الخاصة بتشبكي NDN، وبذلك توفر فرصاً للتكامل الصريح بتطبيقات الويب المحلية والعالمية، باستعمال بصماتٍ معطياتٍ وتحكّمٍ في النفاذ معتمداً على التعمية طلباً للأمان. وجديرٌ بهذا المثال أن يبين، في مضمار إنترنت الأشياء، أنّ التصنيف الدلالي (semantic classification) يستطيع تسهيل اكتشاف تجهيزاتٍ جديدةٍ على شبكة ما - بدءاً من مصباحٍ كهربائيٍ جديد ووصولاً إلى تلفازٍ رقمي - باستعمال الأسماء.

### سياساتُ مكوّناتِ تشبكي NDN ومضامينها الاجتماعية

إن إجراء تغييرٍ أساسيٍّ في المفاهيم المستعملة لتصميم تطبيقاتٍ مشبّكة (networked applications) وفي المكوّنات المتاحة لبنائها، يُحدث انتقالاً من بروتوكول الإنترنت إلى تشبكي NDN قد يؤثّر في قضايا السياسة، ومن جملتها: حرّية

التعبير، والأمن، والخصوصية، وتنظيم المحتوى (content regulation)، وحيادية الشبكة (network neutrality). لكن من الصعب التنبؤ ببعض التغيرات بسبب من أن البنية الأساسية للإنترنت ماضية حثيثاً في توفير آليات مطواعة ومرونة تفسيرية [12]. على أننا نستطيع، حتى في أثناء مرحلة التصميم، تحديد بضع طرائق مهمة قد تحمل تشبيك NDN على تغيير طبيعة تفاعلات الإنترنت. هنا علينا أن نتحرى: كيف يمكن لتشبيك NDN أن يحسن حرية التعبير، وأن يرفع مستوى الثقة والأمن، وأن يكون محسناً للخصوصية ومتحدياً لها في وقتٍ معاً، وأن يعقد تنظيم المحتوى بفعل سياسات الحكومات والصناعة، ويقدم مسائل مفتوحة لحيادية الشبكة.

**تحسينات على حرية التعبير.** إن تشبيك NDN، كما يتبين من مثال IoT المذكور آنفاً، يسهل تطوّر البيئات التي تمكّن التجهيزات المحلية من نقل محتواها دون الاعتماد على مزودات البنية الأساسية الشمولية (global infrastructure providers)؛ فيستطيع أي شخصٍ خزّن رُزْم المعطيات وإعادة نشرها باستعمال أيّ تجهيز، موبعاً بذلك نطاق خيارات بثّ المعطيات، ومعزّراً فرص التواصل وحرية التعبير.

خذ مثلاً، نظام حكمٍ ذا نزعاتٍ استبدادية، يسمح بالنفوذ إلى الإنترنت لكنه يقيد ما تنشره! إن تشبيك NDN يمكن - وبسهولة أكبر من بروتوكول الإنترنت - من تشارك المعطيات عن طريق قنوات تواصلٍ بديلة، وتوصيلية (connectivity) منتهزة (مخامص الخبز وأجهزة الهاتف، إضافةً إلى الحواسيب المحمولة والموجهات)، دون الحاجة إلى بنية أساسية شمولية أو خدماتٍ وسيطةٍ معقدةٍ تتيح المداورة أو استغلال الهوية. فالمستعملون المنتقلون بالسيارات أو الطائرات، أو الأشخاص المزودة تجهيزاتهم النقال بوسائلٍ لاسلكيةٍ مرتجلة، صار بإمكانهم تبادل المعطيات بوساطة تشبيك NDN، باستغلال وسائل الخزن على تجهيزاتهم وبلاستفادة من التوصيلية المتقطعة لنقل المحتوى دون ترك آثارٍ تدلّ على مصدر المعطيات. وتستطيع أيّ عقدة NDN مزودة بإمكان نفاذٍ إلى عدّة شبكات (مثلاً: ارتباطات لاسلكية ولسلكية) ربط تلك الشبكات عن طريق إحالة رُزْم Interest و/أو إجابتها، رافعةً بذلك عدد المسارات التي يمكن أن تسلكها المعطيات وصولاً إلى المستهلك [31]. يضاف إلى ذلك إمكان سبر فضاءات الأسماء وإعمال النظر فيها أو تعميّتها موضعياً؛ وهذا حرّياً بأن يجعل آليات تبادل المعطيات وقدرات التواصل (communication) اللامركزي لتشبيك NDN أكثر تسامحاً للتوصيلية المختلة، من بروتوكول الإنترنت.

واليوم، يُعدّ حجبٌ عددٍ قليلٍ من مواقع الوب المعروفة طريقةً فعالةً للرقابة المنعّية [6]. لكن تفعيل التواصل اللامركزي عند أدنى طبقات الشبكة قد يسمح للمستعملين بالالتفاف على الرقابة، مُحدثاً بذلك آثاراً إيجابيةً لحرية التعبير. فمثلاً، قد يمكن تشبيك NDN مجموعةً من الهواتف، في أثناء مسيرة احتجاج، من استعمال ما يسمى *muling data* - وهو مزيجٌ من خزّن المعطيات والتواصل المباشر من تجهيز إلى تجهيز (direct device-to-device communication)، وفيه تتولّى أجهزة الهاتف نقل المعطيات (والمفاتيح) من مكانٍ إلى مكان، بدلاً من الاعتماد على البنية الأساسية، التي قد تكون عرضةً للرقابة الشمولية. ويمكن إعادة تجميع رُزْم الفيديو ذي طبيعة حساسة، جرى توقيعها إفرادياً (أو المفاتيح للتحقق من ذلك الفيديو) باستعمال أيّ تجهيزٍ تعتمد على اصطلاحات التسمية (naming conventions) الشائعة، وتبّت أنها من الناشر نفسه باستعمال بصمات المعطيات. ويمكن أن يحصل هذا التواصل نداءً لندٍ (peer-to-peer) في شبكات IP، غير أنه أكثر تعقيداً في طبقتي الشبكة والتطبيق. كذلك يستطيع مُنْجُو محتوى تشبيك NDN كبسلة أسماء المعطيات أو تعميّتها لإخفاء حركة السير وإحباط أيّ محاولةٍ لحجب المحتوى استناداً إلى اسمه.

ثم إن توكيد تشبيك NDN على بصمات المعطيات قد يعقد آليةً اجتماعيةً كثيراً ما يُعتمد عليها لحماية حرية

التعبير: وهي إنتاج محتوى مُغفل المصدر (anonymous content production). ولهذا السبب كان لا بدّ من تقدير التحسينات التي يحرزها تشبيك NDN على حرية التعبير في الميزان مقابل تحدياته للتعبير المغفل المصدر (anonymous speech).

**تحسينات في الثقة والأمن.** يقضي تشبيك NDN بأن تُؤفّق جميع المعطيات، بحيث تتمكّن التطبيقات من التحقّق من ناشر المحتوى المتسلّم. وفي حالة إنترنت الأشياء (IoT) تقوم كلّ تجهيزّة منزلية مشبّكة بتوقيع المحتوى، وبذلك تمكّن التطبيقات (من قبيل خدمات التحكم في الإضاءة، أو خدمات مراقبة الطاقة) من التحقّق أنّ المعطيات التي تتلقاها - ومن ضمنها الأوامر - قد صدرت عن منشأ موثوق. ولما كانت البصمات على مستوى الرزمة (per-packet signatures) جزءاً من التشبيك، ومن ثمّ فهي غير معتمدة على تطبيق أو نطاق بعينه، فإن تشبيك NDN سيزيد درجة تعرّف منشأ المعطيات والاعتماد عليه، ابتغاء تحسين أمن المعطيات، ومن ثمّ ثقة المستهلك بالمحتوى. أما في الإنترنت المزوّد بـ IP، فيجب أن يؤسّس المصدر على مستوى التطبيق (per-application)، علماً بأنه يؤسّس حالياً بصورة متقطّعة وغير متّسقة. وقد تُعين آليات التوقيع في تشبيك NDN على التحقّق من المصدر، حتى في حالة معطيات يتيمة (orphaned data) (أي معطيات لا تطبق لها على الشبكة). كذلك فإن بمقدور بصمات المحتوى الحدّ من بعض الأخطار، كالمعطيات الخادعة (spoofed data) والتّصديّ الاحتياليّ<sup>k</sup> (phishing). وعلى هذا فإدراج مثل هذا المصدر في الرزم صراحةً من شأنه أن يحدّ من مخاوف العبث بالمعطيات في الطريق.

وللاستفادة من مزايا الأمن في تشبيك NDN (ولاسيما البصمات المُعمّاة على مستوى الرزم)، سيطلب مبتكرو التطبيقات نماذج ثقة جديدة يمكن أن تستعملها أصناف من التطبيقات، إضافةً إلى أطر عمل لإنشاء مفاتيح وتبادلها وإلغائها داخل شبكاتٍ متركزة حول المعطيات (data-centric networks). ولا شك في أن هذه التحديات، كما ذكرنا آنفاً، هي أهم ما يلزم لتطوير تشبيك NDN. ونعتقد - وهذا من يُمن الطالع - أنه ستكون ثمة دوافع متزايدة، بمرور الزمن، لابتكار نماذج الثقة هذه، وآليات توزيع المفاتيح، نظراً إلى ضرورتها، لا خدمةً لتشبيك NDN فحسب، وإنما لرفع مستوى الأمن في الاتصالات المشبّكة كافةً أيضاً.

وأخيراً نشير إلى أن تبادل المعطيات القائم على الطلب والاستجابة في تشبيك NDN يعود بفوائد على أمن الشبكة، لجهة التخفيف من المشكلات الفاشية في هذه الأيام في الإنترنت المزوّد بـ IP، كهجمات DDoS. ولما كانت كلّ رزمة Interest تستحضر رزمة معطياتٍ واحدةً على الأكثر، فإن موجّهاً واحداً يستطيع استعمال الجدول PIT (المذكور سابقاً) للتحكّم في عدد رزم Interest المعلّقة بغرض تحقيق التوازن في الجريان، ومن ثمّ التخفيف من وطأة هجمات DDoS الحجمية. ونلفت النظر هنا إلى أن تقنيّات التخفيف من وطأة هجمات DDoS في تشبيك NDN قد بُحّثت بشرح وافٍ في أعمالٍ بحثيةٍ أخرى [1، 14].

**تحسينات وتحديات تتعلق بالخصوصية.** تترتب على الاختلافات البنائية الأربعة الأساسية لتشبيك NDN عن بروتوكول الإنترنت IP آثارٌ قد تتحدّى خصوصية المستعمل وتقيده في آنٍ معاً. ففي حين يزيد تبادل المعطيات القائم على الطلب/الاستجابة إغفال هوية ناشدي المعلومات (anonymity of information seekers)، تُعقّد بصمات وأسماء المحتوى

<sup>k</sup> phishing: التصيد في الماء العكر: أسلوبٌ احتياليٌّ للابتزاز يقوم على إرسال رسائل إلكترونية يُزعم أنها من شركاتٍ محترمة، استدراجاً للشخص المستهدف بالكشف عن معلوماتٍ شخصية من مثل كلمات مرور أو أرقام بطاقات ائتمانية ... والكلمة نحتت من كلمتي: phreaking = قرصنة على وسائل التواصل، و fishing = صيد السمك. (المترجم)

إِغْفَالِ الهوية على منتجي المحتوى. كذلك فإن التوكيدَ البنائيَّ على الخزن داخل الشبكة يوئد تحدياتٍ جديدةً تتصل بتقييم استبقاء المعطيات (data retention).

دعم النشُدانِ العُفْلِ (المجهول المصدر) للمعلومات (anonymous information-seeking). يحسن تبادل المعطيات القائم على الطلب/الاستجابة في تشبيك NDN الدعمَ للنشُدانِ العُفْلِ للمعلومات: إذ ليس ثمة عنوانُ مصدرٍ في رزمة Interest. ومع أن رزم Interest تُحدَث أثرًا منسحبًا في الجدول PIT أثناء انتقالها نحو رزمة للمعطيات، فإن جدول كلِّ موجّه يشير إلى الفقرة التالية فقط، ثم تُمحي مداخل PIT هذه حالما تجيب رزمة معطياتٍ مطالب رزمة (أو رزم) Interest غير المبتوت فيها. ومع أن الموجّهات تستطيع تسجيل مثل هذه الآثار المنسحبة لفئات الخبز، فليس من المرجح أن يُتعبَّ مسارُ رجوع رزم Interest الخاصة بالمستعملين إليهم ما لم يتمكّن فاعل (actor) ما (كنظام حاكم استبداديّ مثلًا) من النفاذ وربط الحالة بجميع الموجّهات في المسارات (ربما الكثيرة) التي اتخذتها رزم المعطيات. وتوضّح حالة إنترنت الأشياء IoT مدى الصعوبة التي ينطوي عليها فرض مستوى كهذا من التحكم: فتلك المسارات يُحتمل أن تشمل على تجهيزات ذات ملكية خاصة في المنازل والمباني، إضافةً إلى موجّهات تملكها مزودات خدمات الإنترنت (ISPs). ومن ثمّ، إذا كان بإمكان المزودات ISPs تسجيل رزم Interest وإحالتها إلى الحكومات، فإن الاعتماد المتضائل على هذه المزودات، بوصفها المصدر الوحيد للتوصيلية (connectivity)، حريٌّ بأن يلتق على مثل هذا التسجيل. ولا شك في أن توفير استحضار المعطيات العُفْلِ (المجهول المصدر) (anonymous data retrieval) يمكن أن يفيد الخصوصية إلى حدٍ بعيد؛ فيسمح للأفراد باستهلاك المحتوى المثير للجدل دونما خشية من حدوث أي إرباك أو أذى [13، 26].

تحديات إنتاج المحتوى العُفْلِ (المجهول المصدر). إن إغفال هوية منتج المحتوى في شبكة NDN أمرٌ صعب التحقيق مقارنةً بإغفال هوية المستهلك (consumer anonymity)؛ إذ بالإمكان تعرّف منتجي المعطيات بأكثر من وسيلة - مثلًا: بواسطة المفتاح المستعمل لتوقيع المعطيات، أو من فضاء الأسماء الذي نُشرت فيه المعطيات أو المفتاح، أو من طريق المحتوى نفسه.

وفي حين يتعيّن بالضرورة توقيع معطيات تشبيك NDN، فإن توقيعها يمكن أن يحصل باستعمال مفاتيح مؤقتة وقصيرة الأجل (ephemeral keys)، أو مفاتيح غير متصلة بهويات من العالم الحقيقي. وقد تُستعمل تسمية الأسماء والمعطيات كليهما التماسًا لمزيد من السريّة. بيد أن انتشار استعمال البصمات (التواقيع) في تشبيك NDN ربما يسهّل الأمر أكثر فأكثر على مزودات البنية الأساسية (infrastructure providers) وعلى مستهلكي المحتوى لطلب بصمات تعتمد هويات مدققة ومن العالم الحقيقي. فعلى سبيل المثال، إن منسقي المنتديات على الشبكة، الذين يكافحون الرسائل الإلكترونية التحريضية (trolls)، وحسابات الدُمى المتحركة المضللة (sock-puppet accounts) على الخط - أو الذين يحاولون التحامل على فئة معينة من المستعملين - قد يرفضون التعليقات المرسلّة في رزم دون توقيع مدققة ومن العالم الحقيقي. ومن المحتمل أيضًا أن تكشف تسجيلات ملكية فضاء الأسماء (namespace ownership records) هويات الناشرين، على مثال قاعدة المعطيات WHOIS المستعملة اليوم. وهكذا يظهر جانب مهم آخر في ميدان البحوث المتصلة بتشبيك NDN، يتمثل في مخططات الثقة التي تتيح أبدًا لهوية من العالم الحقيقي للتوثق في المحتوى.

وما برح الباحثون في تشبيك NDN يستكشفون أساليب توجيه خاصة للحفاظ على إغفال مصدر المحتوى [17] (content source anonymity). وربما يوئد منتج المحتوى أن تشارك الهوية العُفْلِ (المجهولة) في حرية التعبير، والإفلات من الرقابة، وإجراء التجارب بعدة هويات على الشبكة<sup>25</sup>. ومن المؤسف فعلاً أن الهوية العُفْلِ (المجهولة) تُستعمل

أيضاً للتهرب من التقاضي في المحاكم عن السلوك الإجرامي، أو لدعم التصرفات الغوغائية وجرائم الكراهية [10]. ومع أن تصميم بنية شبكة لمنع جميع أشكال السلوك الإجرامي هو أمر متعذر (وغير مستحب فيما نعتقد)، فإن من المجدي النظر في المنافع والتكاليف المترتبة على اتخاذ إجراءات لزيادة درجة إغفال هوية منتج المحتوى كلما مضى المشروع قُدماً.

تحسينات على التحكم في النفاذ إلى المحتوى. تقدم لنا غير بعيد أن بنية NDN يشجع التطبيقات على صون المعطيات بتعميتها بدلاً من الاعتماد على أمنٍ مستند إلى قنوات (channel-based security) تجري خلالها المعطيات، كما يحصل حالياً باستعمال SSL/TLS، والشبكات الافتراضية الخاصة (VPNs)، وما يشبهها من برامج على شبكات IP. وفي مثال إنترنت الأشياء IoT، لا حاجة إلى إنشاء ربط آمن بين تجهيزتي اتصال، لأن التطبيق سيقوم بتعمية أي معطيات يُحتمل أنها ذات طبيعة حساسة. ومن شأن صون المعطيات صوتاً مباشراً الحد من تأثير التساهلات المحيطة الشائعة اليوم في الأمن المحيطي وأمن القنوات، وفي الوقت نفسه تعزيز التخبئة (caching) في تشبيك NDN لأغراض التواصل الجماعي.

وما إن تُنشر المعطيات المعمّاة حتى يغدو بالإمكان استئساؤها وتضييفها في مواضع كثيرة (يُحتمل أن تكون معادية)، لكن يستعصي استخراج تعمية المعلومات إلا على من لديهم إمكان النفاذ إلى المفاتيح الصحيحة. وبهذه الطريقة يُظهر تشبيك NDN بوضوح ما كان ضمنياً في مخططات من مثل SSL/TLS، بحيث بات من الممكن التجسس على المعطيات المعمّاة أثناء عبورها، وسرقتها من أطراف أخرى وخرزتها لديها. ويسهل تشبيك NDN طلب مقدار كبير من المعطيات المعمّاة لشخص ما (مثلاً بإرسال رزم Interest لفضاءات أسماء معروفة مثل local/appliance)، بحيث يمكن تخبئة تلك المعطيات المعمّاة في أي مكان، وتكون متاحة على نطاق واسع مُدداً طويلة، وبذلك تزيد من المقدرات الكامنة الطويلة الأمد لفك التعمية غير المرخص. وهكذا سيكون من مستلزمات التحكم في النفاذ إلى المحتوى توخي الدقة في تصميم وتكامل آليات التعمية الحديثة وتقنياتها، كإحالة السرية والخرن المعمى الطويل الأجل. وأكثر من ذلك، فإن الاستعمال المتكامل للتعمية في تشبيك NDN سيستلزم أيضاً مواجهة تحديات مفتوحة من قبيل العبء الحسابي للتعمية في بيئات مقيّدة الموارد (كبيئة IoT)، وكذلك تحديات توزيع المفاتيح والإلغاء [9].

تحديات تتعلق بحق النسيان. مع تزايد انتشار المعطيات الشخصية على الإنترنت، يتنامى القلق من تعذر محوها أو نسيانها؛ فإن شبك المسؤولية الكاملة عن أفعالنا الماضية يبقى ماثلاً بغياً في الذاكرة في أحسن الأحوال، ومقيّداً للتأثر (التفاعل) الاجتماعي والديمقراطية في أسوأها [7، 23]. من هنا ما انفك الباحثون الدوليون في الخصوصية، وكذلك صنّاع السياسات في أوروبا، يولون اهتماماً خاصاً متزايداً بمسألة استبقاء المعطيات والتخلص منها، أو "الحق بنسيانها" [7، 23، 27]. يُذكر أن ولاية كاليفورنيا اعتمدت، إلى عهد قريب، مشروع قرار مجلس الشيوخ الأمريكي ذا الرقم 568، الذي يفرض على مواقع الوب تمكين الفتيان الفُصّر من إزالة منشوراتهم من هذه المواقع بسهولة.

تتولى موجهات IP إزالة المعطيات من الأرصنة (buffers) حال مغادرتها الموجهات؛ أي إنها تتجه، بالاغتيال (by default)، نحو اختيار "النسيان" على مستوى البنية الأساسية، مع استمرار حدوث استبقاء المعطيات عند طبقة التطبيق، لدعم الإعلان الموجه (targeted advertising) وغيره من الأغراض. وفي المقابل، تتجه موجهات تشبيك NDN، بالاغتيال، نحو التذكّر على مستوى البنية الأساسية، بواسطة خازنات المحتوى. وفي IP، تستطيع الأطراف المعنية أن تطلب من الناشرين (publishers) إزالة المعطيات من المواقع المضيفة (hosting sites) عند أطراف الشبكة. ومع أن نُسخاً قد تنتشر في أماكن أخرى على أجهزة المستعمل (user machines)، فإن أي طلب جديد إلى الموقع

المضيف لن يستجاب له. وبالعودة إلى مثال IoT، وفي سياق الحديث عن تشبيك NDN، فإن نُسخَ المعطيات المخبأة، المستمدة من مراقبي الصغار (baby monitors) أو التجهيزات النقالة (mobile devices)، قد تنتشر على موجّهات وخازنات، وكذلك على مخازن محدّدة بحسب التطبيقات (application-specific stores)، وبذلك تظلّ قابلةً لنفاذ رُزم Interest إليها. ولا شك في أن الدعم البنائي لـ"النسيان" في عالم تشبيك NDN سيتطلّب اتّخاذ إجراءات تخفيفية مثل: معلومات زمن البقاء (time-to-live) في الرُزم، وبروتوكولات تراعي تلك القيود، ومزيد من البحوث في معطيات ذاتية الإلتلاف.

**تحديات تتصل بفرض القانون وتنظيم المحتوى.** يتجسّد الدور الأساسي للإنترنت، في مضمار التجارة العابرة للحدود، في صراعها مع سياسات وطنية ودولية شتى تنظّم النشر واستعمال المحتوى. ففي حين يمكن تقييد المحتوى الذي هو نتاج فعاليات غير قانونية (مثلاً، أفضى حظّر بيع التذكارات النازية (Nazi memorabilia) في فرنسا إلى قيود على المحتوى، أُدرجت على مواقع التجارة الإلكترونية في الشبكة (online marketplaces))، قد تفرض أشكالاً أخرى من المحتوى قيوداً على الاستعمال مُعدّة لضمان كسبٍ لمنشئي المحتوى. إن تطبيق أنظمة وقوانين على نشر واستعمال المحتوى في الإنترنت الشمولية كلّها مهمةٌ صعبةٌ حقاً في هذه الأيام في الإنترنت المزود ب IP. وكثيراً ما تستعمل الشركات المكان (where) لعناوين مَصْدَر IP بغرض فرض قيود على النفاذ إلى المحتوى معتمدة على السوق (market-based restrictions)، من طريق استكشاف المواقع الجغرافية لبروتوكول IP. ويقتضي فرض القانون استعمال مجموعة من الوسائل التكتيكية - تقع ما بين تعقب عناوين IP (IP address tracing) والتنقيش العميق للرُزم - بغية ملاحقة منتجي ومستهلكي المحتوى غير القانوني أو المنتحل ومقاضاتهم. ومن شأن أيّ انتقال إلى تشبيك NDN أن يغيّر الأدوات اللازمة لتعقب الأفراد ومراقبة الاتصالات والحد منها، ومن ثمّ جعل الأشكال الراهنة لتنظيم المحتوى أكثر تحدياً، ولكن ربما أكثر إنصافاً أيضاً.

**تعقيّدات تتصل بتنفيذ القانون.** إن توكيد تشبيك NDN على الأسماء الدلالية (semantic names) وبصمات المعطيات يمكن أن يسهّل أنواعاً معيَّنة من تنفيذ القانون؛ فالمفاتيح المستعملة لتوقيع المعطيات، مثلاً، تقوم دليلاً قوياً على أصالة المصدر. وفي حالة إنترنت الأشياء IoT، يمكن تعقب ناشر المحتوى الحساس عن طريق مطابقة المفتاح بتجهيزات قابلة للتعين (identifiable devices) (قد تكون مسجّلة). ولو كانت أسماء المعطيات الواضحة (غير المعمّاة) (clear-text data names) تعبر عن محتوى حقيقيّ (مثلاً: عُرفت المعطيات المبدوءة ب local/PIR بأنها متولّدة من مُحسّات أمنية تحت الحمراء سلبية (passive infrared security sensors)، إذن لأمكن أن يغدو التنصّت الرُزمي على مستوى الشبكة (network-level packet sniffing) (ومن ثمّ تنظيم الشبكة) أقلّ شدةً من الناحية الحسابية. من جهةٍ أخرى، إنّ تعمية أسماء تشبيك NDN ومحتوى الرُزم قد تخفّف من مخاطر التنصّت الرُزمي. كذلك فإن أيّ تحوّل اجتماعي باتجاه تعمية المعطيات على نطاقٍ واسعٍ قمينٌ بأن يثير تحدياتٍ جديدةً لجهة تطبيق القانون. ويجدر القول هنا إن الأنظمة البوليسية والرقابية طالما كانت تتحرّز من الاستعمال الواسع النطاق للتعمية، في حين ما انفك المطوّرون يعارضون توفير أبوابٍ خلفيةٍ تخوّل القانون تمحيص الاتصالات أو التنصّت عليها، علماً بأن من شأن التعمية أن تحدّ من القدرة على التنقيش الدقيق للرُزم، المستعمل لكل شيء: بدءاً من شؤون الأمن ووصولاً إلى إدارة حركة السير<sup>5</sup>.

وسيغيّر تشبيك NDN أيضاً طريقة تأكيد الحكومات سلطتها الإقليمية على الإنترنت؛ فكثيراً ما تُستعمل اليوم عناوين IP لاستهداف إجراءات تطبيق القانون<sup>15</sup>. لكنّ ثمة إجراءات مضادة لهذا الاستهداف في IP يشمل: تعمية المحتوى،

والكبسلة، واستعمالَ مواردٍ طرفٍ ثالث كشبكات botnet. ويقوم تشبيك NDN أيضًا بفصل الاتصال عن الموقع الجغرافي (location)، كما أوضحنا في حالة إنترنت الأشياء IoT، وهذا يتيح التواصل بين التجهيزات دون الرجوع إلى الجغرافيا الطبيعية إطلاقًا. ومن شأن هذا الفصل أن يعقّد تعرّف أيّ نشاطٍ مريبٍ وموقعه الجغرافي اعتمادًا على معطيات الشبكة. ويتعقّد استعمال معطيات الشبكة لجهة التعرّف وتعيين الموقع، يستطيع تشبيك NDN أن يشجّع طرائق لتطبيق القانون تتّصف بالكفاءة والفاعلية، من مثل اتّباع ممرّاتٍ مالية (financial trails) بدلًا من حركة مرور الإنترنت.

إدارة الحقوق الرقمية. إن ملاك العاملين في ميدان تطبيق القانون ليس هو الجهة المعنّية الوحيدة التي تعتمد على قدرات تعرّف المواقع الجغرافية في عناوين IP؛ فأصحاب حقوق الامتيازات الرياضية (sports franchises) مثلًا يستعينون بهذه القدرات لعقّو المشتركين في الأسواق المحليّة عن مشاهدة المباريات على الشبكة، وألعاب الميسر (القمار) تمنع مشاركة البلدان التي تُعدّ فيها مثل هذه الممارسات مخالفةً للقانون. وإذا كانت نتائج البحث مكيفةً تبعًا للمواقع الجغرافية، فإن أحد مستويات المواربة (indirection)، كالشبكات الافتراضية الخاصّة (VPNs)، غالبًا ما يتمكّن من الالتفاف على التحكّم المعتمد على عنوان IP. وفي تشبيك NDN، قد تحتاج الأطراف ذات المصلحة (stakeholders) إلى الاعتماد على هوية طبقة التطبيق (application-layer identity) وعلى معلومات تخصّ تحديد المواقع، بغية تنفيذ مثل هذه القيود على المحتوى. ومع أن رُزَم Interest يمكن أن تردّ من أيّ مكان، فإن الأطراف المعنّية تستطيع بناء نُظُمٍ للتعمية وتوزيع المفاتيح تعتمد على مشتركين مستوَقّة مواقعهم (location-verified subscribers).

وتستلزم تقانة إدارة الحقوق الرقمية (Digital Rights Management (DRM)) عادةً التحكّم بتوزيع المحتوى، والتحكّم بمدى قدرة المستهلكين على إعادة توزيع ذلك المحتوى. أما تشبيك NDN فيدعم النوع الأول من تقانة DRM جيدًا، غير أنه يجعل إعادة النشر أسهل ممّا هي عليه في IP. وكما في الإنترنت المزوّد بـ IP، يستطيع أصحاب حقوق النسخ (copyright holders) توزيع وسائط (media) معمّاة مدقّقة، كما يستطيع المستهلكون التّفادّ إلى المحتوى بالمفتاح المناسب. على أن انتشار التعمية بات يمثّل تحدّيًا لمنافع التخبيّة داخل الشبكة (in-network caching)، فيحدّ من الحوافز الاقتصادية لتوفير مثل هذه التخبيّة<sup>2</sup>. كذلك فإن الاعتماد على التعمية في تنفيذ حقوق النسخ يعرقل إعادة الاستعمال المشروع للمحتوى، كالاستعمال الأمين (fair use) في مساقات التربية والنقد والمحاكاة الساخرة. وقد يكون لمنجّي المحتوى دورٌ في دفع الاستعمال الأمين عن طريق منح نسخٍ من المفاتيح للمكتبات، أو إتاحة أجزاءٍ من المحتوى بالنصّ الواضح (غير المعمّي) لأغراض البحث أو النقد أو المحاكاة الساخرة أو غيرها من الاستعمالات الأمانة المحميّة. على أنه ما إن يتسلّم المستهلكون المحتوى المحقّق ويستخرجون معمّاه حتى يصير بإمكانهم توزيع إصداراتٍ غير مرخصّة، بالنصّ الواضح - وهذا عملٌ جيّدٌ بأن يسهّل أداءه تشبيك NDN أكثر فأكثر.

ويترتّب على الخزن والتخبيّة داخل الشبكة في تشبيك NDN إمكانٌ وجود مقتطعاتٍ كثيرةٍ من الوسائط المُجازة (licensed) (التي يُفترض أنها معمّاة) وغير المُجازة (unlicensed) (التي يُفترض أنها مستخرجةٌ التعمية) معًا على الموجّهات والخازنات. إنَّ عالمًا تنتشر فيه أعدادٌ لا حصر لها من النسخ في أنحاء الإنترنت، يمثّل تحدّيًا للافتراضات التي يتضمّنّها قانونُ حقوق النسخ، إضافةً إلى الآليات السائدة لتنفيذ هذه الحقوق، مثل طلب إزالة المحتوى من موقع على الوب (takedown notice)، استنادًا إلى قانون حقوق النسخ الألفي الرقمي ((Digital Millennium Copyright Act (DMCA))

[19]<sup>1</sup>. وعلى الإنترنت المزود بـ IP، تُصيَّف الفيديوهات عموماً من أكبر الجهات المزودة، مثل يوتيوب (Youtube) أو هولو (Hulu)، التي تستجيب لطلبات إزالة المحتوى. ومع ذلك، فإن هذه المزودات الرئيسية نفسها تكون على المحك: إذ إنه اعتباراً من شهر آب 2015 ومحرك البحث غوغل (Google) يتلقّى أكثر من 12 مليون عنوان مورد نظامي ((Uniform Resource Locator (URL) أسبوعياً، تطلب إزالتها من البحث [20]. وهنا نتساءل: من المسؤول عن إزالة فيديو مخالف ورعته آلاف المؤسسات المختلفة في أنحاء العالم على آلاف الموجهات؟ إن الاقتصاد السياسي للخازنات - الذي يمتلكها، وبما هو مخوّل به من صلاحيات قانونية - هو العامل الذي سيؤثر في الفاعلية المستقبلية لمثل طلبات الإزالة هذه. أما الخزن داخل الشبكة في تشبيك NDN فقد يزيد الضغط على المشرعين (lawmakers) لإعادة صوغ المفاهيم الفكرية والسياسية لحقوق النسخ، التي واجهت تحدي التكرار الرقمي (digital duplication) المتغلغل.

**حيادية الشبكة: حصيلّة ملتبسة.** يركّز النقاش في حيادية الشبكة على ما يجنيه المشاركون من موارد إنترنت مثل: عرض الحزمة (bandwidth) والخزن (storage)، وهل يمكن أن يكون أولئك المشاركون الذين يقدّمون الموارد (كمزودي خدمات الإنترنت (ISPs)) مصدر تضيق أم مبعث انفراج لحركة السير في سبيل زيادة العوائد. ولا شك في أن إنعام النظر في أثر تشبيك NDN في حيادية الشبكة (network neutrality) يحمل على التعمق في عمل عقدة NDN. وثمة خوارزميات ووسائط (parameters) لتشكيل سياسات إحالة الشبكة (network-forwarding policy) تتعلق بسوابق معطيات (data prefixes) ووصلات معطيات (data links) معيّنة في تشبيك NDN؛ تسمى هذه الخوارزميات والوسائط عادةً بالاستراتيجيات<sup>m</sup>. والاستراتيجيات جزء متطور من بحوث تشبيك NDN، وهي - في كل تجهيز للبنيان - تتحكم في عمل ثلاثة جداول هي: قاعدة الإحالة (FIB)، ومخزن المحتوى، والجدول PIT. وتؤثر الاستراتيجيات المتعلقة بهذه الجداول في الأداء، وذلك عن طريق تمكين مالكي العقد (node owners) من التعبير عن سياسات صوغ حركة السير (traffic shaping policies)، من حيث فضاءات أسماء وواجهات لعقد أخرى.

**استراتيجيات إحالة رزم Interest.** يُستعمل توجيه البروتوكولات و/أو إعداد الطرق السكونية (static routes) يدوياً لتشكيل استراتيجيات إحالة في FIB. ويعبر التشكيل المتحصّل عن سياسات مديري الموجهات، الذين قد يرتقون التمييز اعتماداً على أنواع المعطيات (data types) (المتضمنة داخل أسماء المعطيات، مثل: local/toaster) أو فضاء اسم المادة المنشورة (ucla/cs/local/toaster). وقد يحدث مثل هذا التمييز في حركة السير في IP، ولكن عند طبقات أعلى مثل: بروتوكول نقل النصوص الترابطية (HTTP)، أو بوساطة أسماء نظام تسمية المجالات (Domain Name System (DNS)). وستكون موجهات تشبيك NDN قادرة على اعتماد اختيارات كهذه عند طبقة الشبكة.

**استراتيجيات مخزن المحتوى.** إن جميع المعطيات التي تُعبّر موجهاً لتشبيك NDN قابلة للتخزين في مخزن المحتوى، وهي تدوم وفقاً لسياسات التخزين المشكّلة للموجه. يقوم التشبيك NDN بنشر التخزين وتكاليفها في أنحاء البنية الأساسية لشبكة الإنترنت، التي تجعل وظائف خزن المحتوى ميسورة، وتُدخل الأطراف الجدد في الصراع على موارد الإنترنت. ويدرس الباحثون حالياً بواعث اقتصادية لنشر خواب وأسواق للتشارك في الخوابي [2]، علماً بأن الخزن داخل

<sup>1</sup> DMCA takedown notice: هو إزالة المحتوى من موقع وب بناءً على طلب صاحب المحتوى أو مالك حق نشره ونسخه، إذا ما وُجد على الشبكة من غير إذن. وهذا إجراء متعارف ومقبول في عالم الإنترنت. (الترجم)

<sup>m</sup> إننا هنا نستعمل مصطلح استراتيجيات (strategies) استعمالاً أكثر تعميماً مما يستعمله منشئو بنيان NDN حتى الآن؛ فاستعمالنا له يستغرق أيما اختيار للسياسات في عقدة NDN، بحيث لا يُخرق "الوسط الضيق" للبنيان بمفهومه الراهن.

الشبكة من شأنه أيضاً أن يؤثر في الاقتصاد السياسي لنشر المحتوى. وإذا أُتيحَت لمُنْتَجِي المحتوى على الإنترنت المزود بتشبيك NDN تخبئة كافية داخل الشبكة، استطاعوا استعمال مخدّم رخيص التكلفة وارتباطٍ منخفضٍ عرض الحزمة (low-bandwidth connection) بغية جعل وسائلهم الفيديوية السريعة الانتشار في متناول ملايين المشاهدين المهتمين، بحيث توفر الشبكة تصعديّةً للتعامل مع طلبات المحتوى (content requests). ومن ثمّ يستطيع تشبيك NDN تخفيض اعتماده على خدمات طرفٍ ثالثٍ لضبط توزيع المحتوى، فيشارك المستعملون في المحتوى وفقاً لمتطلباتهم الخاصة، بدلاً من أن يكونوا خاضعين لمزودٍ من طرفٍ ثالثٍ، أو لشروط خدمةٍ مُضيفة.

*استراتيجيات جدول رزم Interest المعلقة (PIT)*. لما كان جدول PIT يسجل رزم Interest التي جرت إحالتها ثم ينتظر عودة رزم المعطيات، فإن السياسات التي تعدّل مدة الاحتفاظ برزم Interest في جدول PIT ربما تؤثر في أداء استحضار المعطيات. (مع أن ثمة حقلاً في كل رزمة Interest يحدّد عمراً، فإن الأمر بالالتزام بذلك الحقل عائدٌ إلى كلّ مُجِل (forwarder)). أما مدى قدرة المستهلكين أو مزودَي فضاءات الأسماء (namespace providers) على التأثير في جودة الخدمة، من طريق إطالة مدة حزن رزم Interest في الجدول PIT أو من طريق إعادة إصدار أكثر جرأة لرزم Interest في أنحاء واجهاتٍ صادرةٍ متعدّدة، فهي مسائل تتعلّق بتشكيل الاستراتيجية، وقد تؤثر في حيادية أيّ عقدة.

*آثار حيادية استراتيجيات عقدة NDN*. من المرجّح أن يكون المشاركون الذين يتحكّمون في قرارات توجيه حركة المرور في تشبيك NDN أكثر تنوعاً منهم على الإنترنت المزود ب IP. ومع ذلك، ستبقى مزودات خدمات الإنترنت (ISPs) المعتمّدة على تشبيك NDN تتمثّل البواعث (بل الالتزامات) لإنشاء مجرّات استراتيجية (strategy modules) لإدارة الجداول في موجهاتها، وإعطاء الأولوية لمعطيات ذات أنواعٍ أو أسماءٍ معيّنة. ويشار إلى أن أسماء المعطيات قد تكشف أنواعاً من المحتوى مثل: إنترنت الأشياء IoT، أو فيديو، أو معطيات علمية، أو معطيات استجابة لحالة طوارئ. كذلك فإن سوابق الأسماء (name prefixes) القابلة للتوجيه شمولياً، والتي تعبّر عن أصول المعطيات، من قبيل: /edu/ucla/ أو /com/nytimes/، قد توجي بنفوذٍ أو مكانةٍ مؤسسية، كما قد تكشف مفاتيح التوافق أيضاً عن أصول المعطيات. ولربما تعمد المعايير المستقبلية إلى استعمال أسماءٍ أو مفاتيح توافيق لإعطاء الأولوية لتبادلاتٍ بعينها من المعطيات، كحركة مرور استجابة الطوارئ. إن تنفيذ مثل هذا الترتيب للأولويات في أنحاء مزوداتٍ متعدّدة قد يحمل من تعقيد السياسات ومخاطرها قدرًا لا يقلّ عما تحمله المساعي الرامية إلى تقديم جودة خدمة المزودات المتعدّدة (multiprovider QoS) على شبكات IP الحديثة [11].

وفي شبكة NDN، لا يوفر التوجيه إلا واحدًا فقط من عوامل الدخّل (input factors) المتصلة بإحالة القرارات؛ فاستراتيجيات الإحالة المحليّة التشكيل (locally configured forwarding strategies) هي صاحبة القرار الفصل في تحديد أيّ رزم Interest تُحال على أيّ مسار، أو هل سُحال أصلاً. وبهذه الطريقة تستطيع مزودُ دعم تشبيك NDN المتأصل للحركة والتشبيك المتسامح مع الأعطال (DTN) أن تخفّف من خطر تمييز حركة المرور الضارّة. وحتى إذا تطوّر التشبيك ذو الأولوية باستعمال أسماءٍ مفيدةٍ دلاليًا أو سياساتٍ مألوفةٍ الاستبقاء (pay-for-retention policies) على الموجهات، فإن قدرة NDN على إحالة الطلبات التقافاً على المزودات التي لا تستجيب استجابةً فعّالة ستتيح للمستهلكين مزيداً من الخيارات لإرسال المعطيات. وسيكون بإمكان مزودات ISPs الصغيرة استعمال الإحالة على مساراتٍ متعدّدة (multipath forwarding) بغية اختيار مسارات الإحالة استناداً إلى معايير الأداء. وسيتمكّن تشبيك NDN المزودات من الالتفاف على مزودات ISP التي تخنق حركة المرور المعتمّدة على أسماءٍ معيّنة، ومن شأن ذلك أن يكون عامل تشبيطٍ لمثل هذا الخنق.

## السياسات والآثار الاجتماعية لتشبيك NDN على منتجي المحتوى، ومستهلكيه، ومنظّميه، ومشغلي الشبكة فيه.

حرية التعبير	الخصوصية	التحكّم في المحتوى	حيادية الشبكة
المعطيات المسماة والموقّعة متاحة من أيّ عقدة ترغب في تقديمها	تحسين يتّصل بمنتجي ومستهلكي المحتوى: يمكن الالتفاف بالمعطيات على محاولات الرقابة.	تحسين يتّصل بمستهلكي المحتوى: مراقبة المحتوى أكثر صعوبة من تحقيقه.	تحسين يتّصل بمنتجي ومستهلكي المحتوى: ينوّع الاهتمامات تنافساً على موارد الإنترنت. تحدي يتّصل بمنتجي الشبكة: ينوّع التنافس.
أصالة المنشأ تُبنى على توافق المعطيات والتوزيع المباشر للمفاتيح	تحسين يتّصل بمنتجي ومستهلكي المحتوى: يزيد الثقة في أصالة منشأ الكلام. تحسين يتّصل بمنتجي الشبكة: يزيد المعلومات المتاحة لاستراتيجيات الشبكة.	تحسين يتّصل بمنتجي ومستهلكي المحتوى: قد يساعد على تعرّف المحتوى المخالف. يزيد المعلومات المتاحة لاستراتيجيات الشبكة.	تحسين يتّصل بمنتجي ومستهلكي المحتوى: قد يُحدث تمييزاً قائماً على نوع المعطيات أو أصلها. تحسين يتّصل بمنتجي الشبكة: يزيد المعلومات المتاحة لاستراتيجيات الشبكة.
مداومة المعطيات بالخزّن المتغلغل والمنتظم النّفاذ	تحسين يتّصل بمنتجي ومستهلكي المحتوى: تدوم المعطيات حتى عندما تكون عرضةً للإزالة من موقع الوب.	تحدي يتّصل بمنتجي ومستهلكي المحتوى: قد يزيد احتمال فكّ التعمية من أطراف غير مخوّلة.	تحسين يتّصل بمنتجي ومستهلكي المحتوى: ينوّع الاهتمامات تنافساً على موارد الإنترنت. تحدي يتّصل بمنتجي الشبكة: حواجز تضيق التخبيّة غير واضحة [1]
نموذج الطلب/الاستجابة لتبادل المعطيات	تحسين يتّصل بمستهلكي المحتوى: يضمن إغفال الهوية لناشدي المحتوى؛ يمكن الالتفاف بالطلبات على محاولات الرقابة.	تحسين يتّصل بمستهلكي المحتوى: يضمن إغفال الهوية لناشدي المحتوى.	تحسين يتّصل بمنتجي الشبكة: يمكن التحكم في حمل حركة السير عن طريق التحكم في عدد رزم Interest المعلّقة.

## النتيجة

خَلَصْنَا إلى أَنَّ تشبيك NDN يجتذب بعض المفاهيم الدلالية لطبقات تطبيقات شبكة الإنترنت الراهنة إلى طبقة الشبكة، متيحاً بذلك منافع تقنية لمطوري التطبيقات ومشغلي الشبكات والمستخدمين النهائيين أيضاً. ويترجح أيضاً أن تكون لقرارات التصميم البنائي لتشبك NDN آثارٌ على قضايا اجتماعية وأخرى تخص السياسات في كلتا الطبقتين، ومن ذلك عددٌ من أكثر التحديات إلحاحاً في الوقت الحاضر: كحرية التعبير، والخصوصية، والتحكم في المحتوى، وحيادية الشبكة. أما الإجابة عن السؤال: هل هذه الآثار في واقع الأمر مكاسبٌ إيجابية أم نقائص سلبية؟ فأمرٌ يعتمد على نظرة من يهتمهم الأمرٌ إليها. والجدول المرفق يُسقط الآثار التقنية لتشبك NDN على مقابلاتها الاجتماعية والسياسية لطيفٍ من الأطراف المعنية به: منتجي المحتوى، والمستهلكين، والمنظمين، ومشغلي الشبكات.

وبتتبع العُقد التي تستطيع توفير المعطيات، سيتمكن تشبيك NDN من تحسين شروط التعبير الحُرِّ والعُقل (المجهول المصدر)، وشروط نشدان المعلومات للمستهلكين والمنتجين. أما المنشأ الرصين لتشبك NDN، القائم على بصمات المعطيات، فسيعرّف بمنتجي المحتوى، وسيعزز أمن المحتوى والثقة به، وفي الوقت نفسه يعقد إنتاج المعلومات العُقل (المجهولة الهوية). ومن شأن المنشأ الرصين أيضاً أن يساعد منتجي المحتوى على تعرّف المحتوى المخالف، إذ تُوفّر البصمات آلية تُعين المنتجين على صون المحتوى باستعمال تحكمٍ في النفاذ معتمدٍ على التعمية. غير أن الحزن المتغلغل (pervasive storage) وتبادل المعطيات القائم على الطلب والاستجابة سيكون عامل تَحَدٍ للمنتجين المهتمين بالتحكم في المحتوى وقيود النفاذ الجغرافية. أخيراً، إنَّ حيادية الشبكة حصيلةٌ معقدة يصعب التنبؤ بها؛ فالقرارات المستقبلية فيما يتعلق بالتسمية (naming) والتوجيه (routing) قد تعرقل هذه الحيادية، إذ إن استعمال أسماءٍ للتوجيه يمكن أن يسهل أنماطاً جديدة من التمييز في حركة المرور. في الوقت نفسه سيُشيع تشبيك NDN روح التنافس المتنامي بين مشغلي الشبكة، وذلك من طريق تمكين التطبيقات من الالتفاف بكفاءة على البنية الأساسية التي تقيد حركة سيرها.

إنَّ ما رَمَتْ إليه هذه المقالة هو تناوُل السياسات والآثار الاجتماعية للشبكات، التي تمثلُ تنكُّباً مهماً عن الإنترنت المعتمدة على IP التي نعرفها اليوم. وهي بهذا المعنى لا تتناول موضوعاتٍ في سياسات الإنترنت؛ فذلك يبقى مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً بالتحديات الراهنة في IP، وهي جوانبٌ للبحث المستقبلي. على سبيل المثال، يواجه تشبيك NDN تحدياتٍ في إدارة حقوق التسمية القابلة للتوجيه على مستوى شمولي (globally routable naming rights management)، مماثلة لتلك التي في IP. كذلك فإننا لم ننتطرق إلى قضايا تخص السياسات على مستوى التطبيقات من قبيل العلاقة بين جمع معطيات الدعاية وبين الخصوصية، أو القوانين على مستوى التطبيقات (application-level regulations) مثل متطلبات النفاذية (قابلية النفاذ) (accessibility)، أو خدمات تحديد المواقع الجغرافية مثل E911.

ومع ذلك، فإن تعرّف مسائلٍ مفتوحة ذات صلة بطبقات الشبكة يصوّر جانباً إيجابياً لدراساتٍ مرتقبة في رسم السياسات. كذلك قد يُسهّم تحليل السياسات والآثار الاجتماعية المحتملة لتشبك NDN في ترتيب أولويات القضايا المطروحة للبحث ضمن مشروع هذا التشبيك، والدائرة التي هي أوسع نطاقاً لمبادرات التشبيك المتمركز حول المحتوى (content-centric networking initiatives). وسيعتمد الأثر العملي لتشبك NDN على توجهاتٍ مستقبلية في عدّة مجالاتٍ للبحث المفتوح: (1) موازنة أسماء واضحة (ذات معنى) لتبسيط تطوير التطبيقات، مع أسماءٍ مبهمّة (opaque

<sup>11</sup> نظام خدمة طوارئ هاتفية في الولايات المتحدة، يحدّد موقع المُصل على رقم الطوارئ (911) من هاتفٍ خلوي. (المترجم)

(names، حمايةً للخصوصية؛ (2) توحيد الآليات المستعملة في تعيين مفاتيح التعمية وتوزيعها وإلغائها؛ (3) استحداث أنماط تصميم (design patterns) قابلة للاستعمال، لإدارة الثقة في طيفٍ واسعٍ من التطبيقات؛ (4) توفير تجزئاتٍ رصينةٍ قابلةٍ للاستعمال لخطط تعميةٍ متعدّدة الأطراف (multi-participant encryption schemes) أكثر تعقيداً؛ (5) إنشاء إدارة اختناقٍ (congestion management) صالحةٍ لتفعيل الحيادية.

إنّ معظم الآثار المحتملة لسياسات تشبيك NDN مجردٌ حدسيّ وتخميني، لأسبابٍ تعود في جزءٍ منها إلى أننا ما برحنا نستكشف تلك الآثار، في الوقت الذي ما زال فيه تصميمُ البنيان في قيد التطوير. ومع ذلك، فإنّ تصوّر التحولات الاجتماعية التي يمكن أن يشجّعها تشبيك NDN في أثناء عملية التصميم يتيح فرصاً لإجراء بحوثٍ حاسوبيةٍ تعضد الأثر الاجتماعيّ للتشبيك. ونأمل أن يكون هذا العملُ بمنزلة شرارةٍ أولى توري زُند بحوثٍ ومناقشاتٍ للآثار الحالية والمستقبلية لشبكة الإنترنت في المجتمع الإنساني. ونحن على يقينٍ من أن التّكثيرُ البُنَاءَ فيما نستشرفه من تحولاتٍ يعيننا على إدراكٍ أفضلٍ للعلاقة بين البنية الأساسية وعالمنا هذا.

### كلمة شكر

يشكر المؤلفون كلاً من: Steven Bellovin و Chalres Duan و Paul Ohm و David D. Clark و Van Jacobson، إضافةً إلى مراجعين "غُفلي" (مجهولين) لم تُذكر أسماؤهم، لنفضلهم بتزويدنا بتغذية راجعة وأفكارٍ خلّاقةٍ أسهمت في صوغ "بنيان" هذا العمل. والشكر موصولٌ لمؤسسة العلوم الوطنية [بفرجينيا] على ما قدّمته من دعمٍ ماليّ للبحث بموجب المَنح ذوات الأرقام: CNS-1040868 و CNS-1421876 و CNS-1345318.

### المراجع

- [1] Afanasyev, A., Mahadevan, P., Moiseenko, I., Uzun, E. and Zhang, L. Interest flooding attack and countermeasures in Named Data Networking. *IFIP Networking Conference, 2013*, 1–9.
- [2] Agyapong, P.K. and Sirbu, M. Economic incentives in information-centric networking: Implications for protocol design and public policy. *IEEE Commun. Mag.* 50, 12 (2012), 18–26; <http://doi.org/10.1109/MCOM.2012.6384447>
- [3] Bannis, A. and Burke, J.A. *Creating a secure, integrated home network of things with Named Data Networking*. UCLA, 2015, Los Angeles, CA.
- [4] Baxter, G. and Sommerville, I. 2011. Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. *Interacting with Computers* 23, 1 (2011), 4–17; <http://doi.org/10.1016/j.intcom.2010.07.003>
- [5] Bendorath, R. and Mueller, M. The end of the net as we know it? Deep packet inspection and Internet governance. *New Media & Society* 13, 7 (2011), 1142–1160.
- [6] Best, M.L. and Wade, K.W. Democratic and anti-Democratic regulators of the Internet: A framework. *The Information Society* 23, 5 (2007), 405–411; <http://doi.org/10.1080/01972240701575684>
- [7] Blanchette, J.-F. and Johnson, D.G. Data retention and the panoptic society: the social benefits of forgetfulness. *The Information Society* 18 (2002), 33–45.
- [8] Burke, J.A., Gasti, P., Nathan, N. and Tsudik, G. Securing instrumented environments over content-centric networking: the case of lighting control. In *Proceedings of IEEE INFOCOMM 2013 NOMEN Workshop*. Retrieved Aug.7, 2015; <http://named-data.net/publications/nomen13/>
- [9] Chaabane, A., De Cristofaro, E., Kaafar, M.A. and Uzun, E. 2013. Privacy in content-oriented networking: Threats and countermeasures. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 43, 3 (2013), 25–33; <http://doi.org/10.1145/2500098.2500102>
- [10] Citron, D.K. Civil rights in our information age. In *The offensive internet: privacy, speech, and reputation*. Harvard University Press, Cambridge, MA and London, 2010, 31–49.

- [11] Clark, D.D., Bauer, S., Lehr, W. et al. Measurement and analysis of Internet interconnection and congestion. In *Proceedings of the 42nd Research Conference on Communication, Information, and Internet Policy*. Social Science Research Network, 2014. Retrieved Aug. 17, 2015; <http://papers.ssrn.com/proxy-um.researchport.umd.edu/abstract=2417573>
- [12] Clark, D.D., Wroclawski, J., Sollins, K.R. and Braden, R. Tussle in cyberspace: Defining tomorrow's Internet. In *Proceedings of the 2002 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications*, ACM, 347–356; <http://doi.org/10.1145/633025.633059>
- [13] Cohen, J.E. A right to read anonymously: A closer look at “copyright management” in cyberspace. *Connecticut Law Review* 28 (1996), 981–1039.
- [14] Compagno, A. Conti, M., Gasti, P. and Tsudik, G. Poseidon: Mitigating interest flooding DDoS attacks in Named Data Networking. In *Proceedings of the 2013 IEEE 38th Conference on Local Computer Networks*, 630–638; <http://doi.org/10.1109/LCN.2013.6761300>
- [15] Cooke, L. 2007. Controlling the net: European approaches to content and access regulation. *Journal of Information Science* 33, 3 (2007), 360–376; <http://doi.org/10.1177/0165551506072163>
- [16] DeNardis, L. Hidden levers of internet control. *Information, Communication & Society* 15, 5 (2012), 720–738; <http://doi.org/10.1080/1369118X.2012.659199>
- [17] DiBenedetto, S., Gasti, P., Tsudik, G. and Uzun, E. ANDaNA: Anonymous Named Data Networking application. In *Proceedings of the 19th Annual Network & Distributed System Security Symposium*, Internet Society. Retrieved June 26, 2012; <http://arxiv.org/abs/1112.2205>
- [18] Fu, W., Abraham, H.B. and Crowley, P. Synchronizing namespaces with invertible bloom filters. In *Proceedings of the 11th ACM/IEEE Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems*. IEEE Computer Society, 123–134. Retrieved Aug. 17, 2015; <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2772722.2772740>
- [19] Gillespie, T. *Wired Shut: Copyright and the Shape of Digital Culture*. The MIT Press, 2009.
- [20] Google transparency report. 2005. Retrieved Aug. 17, 2015; <http://www.google.com/transparencyreport/removals/copyright/>
- [21] Jacobson, V., Smetters, D.K., Thornton, J.D., Plass, M., Briggs, N. and Braynard, R. Networking named content. *Commun. ACM* 55, 1 (Jan. 2012), 117–124; <http://doi.org/10.1145/2063176.2063204>
- [22] Lessig, L. *Code: Version 2.0*. Basic Books, New York, NY, 2006.
- [23] Mayer-Schoenberger, V. *Useful Void: The Art of Forgetting in the Age of Ubiquitous Computing*. Harvard University, Cambridge, MA, 2007.
- [24] Pfaffenberger, B. Technological dramas. *Science, Technology & Human Values* 17, 3 (1992), 282–312.
- [25] Phillips, D.J. From privacy to visibility: Context, identity, and power in ubiquitous computing environments. *Social Text* 23, 2 (2005), 95–108.
- [26] Richards, N.M. The perils of social reading. *Georgetown Law Journal* 101, 3 (2013). Retrieved Apr. 15, 2012; [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2031307](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2031307)
- [27] Rosen, J. The right to be forgotten. *Stanford Law Review Online* 64 (2012), 88.
- [28] Shang, W., Ding, Q., Marianantoni, A., Burke, J. and Zhang, L. Securing building management systems using named data networking. *IEEE Network* 28, 3 (2014), 50–56; <http://doi.org/10.1109/MNET.2014.6843232>
- [29] Yu, Y., Afanasyev, A., Clark, D., claffy, kc, Jacobson, V. and Zhang, L. Schematizing and automating trust in Named Data Networking. In *Proceedings of the 2nd ACM Conference on Information-Centric Networking*. ACM, 2015.
- [30] Yu, Y., Afanasyev, A. and Zhang, L. *Name-based access control*. University of California Los Angeles, CA, 2015.
- [31] Zhang, L. Estrin, D., Burke, J.A. et al. *Named Data Networking Tech Report 001*. University of California Los Angeles, CA, 2010. Retrieved Sept. 8, 2014; <http://named-data.net/publications/techreports/tr001ndn-proj/>

## المؤلفون

**كاتي شيلتون** (Katie Shilton) (kshilton@umd.edu): أستاذة مساعدة في مبحث الدراسات المعلوماتية في جامعة ميريلاند، كوليدج پارك.

**جيفري أ. بيرك** (Jeffrey A. Burke) (jburke@remap.ucla.edu): عميد مساعد لشؤون التقنية والابتكار في مدرسة المسرح والسينما والتلفزة بجامعة كاليفورنيا، لوس أنجلوس.

**كي سي كلافي** (KC Claffy) (kc@caida.org): مؤسّسة ومديرة مركز تحليل معطيات الإنترنت التطبيقية (CAIDA) في جامعة كاليفورنيا، سان دييغو.

**ليكسيا زانغه** (Lixia Zhange) (lixia@cs.ucla.edu): أستاذة علوم الحاسوب في جامعة كاليفورنيا، لوس أنجلوس، والحائزة على جائزة جوناثان ب. پوستل.

# ملفات الأعداد

## من تاريخ صدور المجلة

إعداد: د. نزار الحافظ

العدد	العام	ملف العدد
1	1996	الإنترنت
2	1997	الوسائط المتعددة
3	1997	توجهات استراتيجية في المعلوماتية
4	1998	المناعة الحاسوبية
5	1998	المنظومات الافتراضية
6	1999	منتجات شبكية رائدة
7	1999	لينكس، نظام تشغيل مجاني ومفتوح المصدر
8	2000	عدد خاص بمؤتمر الشام الدولي الثاني للمعلوماتية
9	2000	نظرة استراتيجية إلى تقانات المستقبل
10	2001	تقانة المعلومات في الألفية الجديدة
11	2001	تطبيقات معالجة الكلام
12	2003	المصارف الإلكترونية
13	2004	تطبيقات الحقيقة الافتراضية
14	2004	تقنيات متقدمة في تخزين المعطيات ومعالجتها واسترجاعها
15	2005	البرمجيات المفتوحة المصدر
16	2005	قابلية التنقل، تطبيقات إدارة المعطيات
17	2005	تطوير البرمجيات بواسطة المستخدم النهائي
18	2006	برمجيات التجسس
19	2006	تطبيقات الرؤية الحاسوبية

عمل لتطبيقات الويب	2006	20
تطبيقات عتادية لراحة المستخدم	2007	21
التحقيق الجنائي المعلوماتي	2007	22
التعمية وسبل الحد من التهديدات	2007	23
أهمية واجهات التخابط للتطبيقات	2007	24
الأمن السيبري	2008	25
برمجيات المؤسسات والأعمال	2008	26
واجهات الاستخدام العضوية	2008	27
الويب الدلالي والبحث على الويب	2008	28
نظم التعلّم الإلكتروني وموارده	2009	30-29
تحسين أداء مواقع الويب والحماية من مواقع الويب	2009	32-31
تحسين حماية المستخدم وتوفير تصفح آمن	2010	34-33
الحوسبة السحابية	2010	36-35
نماذج الحوسبة الموزعة	2011	38-37
بيئات وتطبيقات الحوسبة العالية الأداء	2011	40-39
تحرير الرماز والمعطيات والتطوير البرمجي	2012	42-41
تطورات تقانية في المعالجة بالزمن الحقيقي	2012	44-43
منظومات التطبيقات المحمولة	2013	46-45
الحوسبة السحابية	2014	47
مناهج في تطوير البرمجيات	2014	48
إخفاء، أمن، حفظ المعلومات	2015	49
تداول المعطيات الضخمة	2015	50
تحديات في المعطيات الكبيرة	2016	51
قضايا في البرمجة المتوازية	2016	52
تطبيقات الذكاء الصناعي	2017	53
تحسين أداء النظم	2017	54
معالجة المعطيات الكبيرة	2018	55
من تحديات المعطيات الكبيرة	2018	56

## قائمة المصطلحات 1

## LIST OF TERMS

إعداد: د. نزار الحافظ

التفافية (قابلية النفاذ)	accessibility
تحليل المصفوفات إلى عوامل بطريقة أقل الترتيبات المتناوبة	Alternating Least Squares (ALS) matrix factorization
واسم	annotator
إغفال/استغفال الهوية	anonymity/anonymization
عُمل (مجهول المصدر، مجهول الهوية)	anonymous
تطبيقات صغيرة	applets
نموذجي	archetypal
كثافة مساحية	areal density
دعاية شعبية زائفة	astroturf
شبكة مستقلة ذاتياً	autonomic network
مراقب الصغار	baby monitors
منافسة	bake-off
تقنية الخط القاعدي	baseline technique
دُفعة (دُفعية)	batch
هبوط تدريجي دُفعي	batch gradient descent
عمل دُفعي	batch job
قياس الأداء	benchmark
أشياء رائجة	blockbusters
شبكة ربوتية	botnet
مسافرون محدودو الميزانية	budget travelers
برنامج تحكّم مُضمّن	built-in control program
فقاقيع ثمانية	byte blobs
دفق ثماني	byte stream
سلطة مُنح شهادات	Certificate Authority (CA)
ربوط محادثة	chatbot
إدراج نقاط تدقيق	checkpointing

<sup>1</sup> تتضمن مصطلحات مقالات هذا العدد والعدد السابق (55) أيضاً.

نص واضح (غير معمى)	clear-text
معطيات دفق النقرات	click-stream data
نقر التثبيت	click-through
غُلَاقَات	closures
مزود السحابة	cloud provider
خزّن سحابي	cloud storage
نقل المعطيات من سحابة إلى سحابة	cloud-to-cloud data transfer
إعادة استعمال الرماز	code reuse
ترشيح تعاوني	Collaborative Filtering (CF)
تخزين عمودي	columnar storage
فرق استجابة لطوارئ الحاسوب	Computer Emergency Response Teams (CERT)
مفاهيمي	conceptual
إدارة الاختناق	congestion management
التحكّم في النفاذ إلى المحتوى	content access control
مستهلكو المحتوى	content consumers
إيصال المحتوى	content delivery
شبكة توزيع المحتوى	Content Distribution Network (CDN)
طلبات/بصمات المحتوى	content requests/signatures
تنظيم إصدارات المحتوى	content versioning
ترشيح مُعتمِد على المحتوى	content-based filtering
تشبيك متمركز حول المحتوى	content-centric networking
يعي السياق	context-aware
وعي السياق	contextualization
حواري	conversational
أصحاب حقوق النشر	copyright holders
نسبة التكلفة إلى الخزن	cost-to-storage ratio
تدريب/تثبيت تصالبي	cross training/validation
تعهد جماعي	crowdsourcing
بصمات معمة	cryptographic signatures
(لغة) كودا (بنيان تجهيز حسابات موحد)	CUDA (Compute Unified Device Architecture)
هجوم سبراني	cyberattack
أمن سبراني	cybersecurity
عضو سبراني	cybrog
خاوية معطيات	data cache
خروج المعطيات	data egress
نسيان المعطيات	data forgetting
دخول المعطيات	data ingress
منشأ رزمة المعطيات	data packet provenance

سوابق معطيات	data prefixes
استبقاء المعطيات	data retention
شحن المعطيات	data shipping
بصمات معطيات	data signatures
مقاربة متركزة حول المعطيات	data-centric approach
اتجاه تدفق المعطيات	data-flow direction
معدل نقل المعطيات	data-transfer rate
هجمات رفض الخدمة الموزع	DDoS (Distributed Denial of Service) attacks
شبكات عصبونية عميقة	Deep Neural Networks (DNN)
منع/رفض الخدمة	Denial of Service (DoS)
أنماط تصميم	design patterns
مستوق الوجهة	destination drive
رزم ذات وجهة محددة	destination-specific packets
تطوير وتشغيل	DevOps
إدارة الحقوق الرقمية	Digital Rights Management (DRM)
تخصصات هندسية	disciplines
دقائق متقطعة	discretized streams
نسخ المعطيات المعتمد على القرص	disk-based copying out of data
تشبيك متسامح مع الأعطال	Disruption-Tolerant Networking (DTN)
نشر معلومات	dissemination of information
سرعة تنزيل (المعطيات)	download speed
سرعة/زمن النسخ بين مستوقين	drive-to-drive copy-in/copy-out speed/time
نسخ المعطيات من مسوق إلى مسوق	drive-to-drive data copying
التعمية ذات المنحني الناقصي (الإهليلجي)	Elliptic Curve Cryptography (ECC)
استجابة لحالة طوارئ	emergency response
علامات انفعالية	emotions
تحكم في النفاذ المعتمد على التعمية	encryption-based access control
شبكات الطاقة	energy grids
مفتاح قصير الأجل	ephemeral key
متابع مزيف	fake follower
خطأ سلبي/إيجابي	false negative/ positive
تحمل الخلل	fault tolerance
متحمل للخلل	fault-tolerant
سمة	feature
تعلم بإشراف معتمد على السمات	feature-based supervised learning
تعليقات	feedback
مرشح	filter
ترشيح	filtering

متابع	followee
متابع	follower
استراتيجيات الإحالة	forwarding strategies
مُسَوَّقٌ متجزئ	fragmented drive
مُعْتَمِدٌ على الإيماءات	gesture-based
أسماء متفرّدة على المستوى الشمولي	globally unique names
إدارة حكومة	governance
حُبِّيَّة	granularity
حقيقة أساسية	ground truth
نظام ملفات موزّع خاص بـ Hadoop	Hadoop Distributed File System (HDFS)
مِسَوَّقُ القرص الصلب	hard-disk drive (HDD)
تمييز حركة المرور الضارّة	harmful traffic discrimination
أمانة مربع	hashtag
التفاعل بين الإنسان والحاسوب	HCI (Human-Computer Interaction)
صفحة تخزين مِسَوَّقُ القرص الصلب	HDD platter
تخصيص تراتبي لعناوين IP (بروتوكول الإنترنت)	hierarchical IP address allocation
مصورّ تجسيمي	hologram
تجسيمي	holographic
تصوير تجسيمي	holography
فخّ مصيدة	honeypot trap
عنوان المضيف	host address
موائمة مسرى المضيف	host bus adapter
مواقع مضيضة	hosting sites
تجهيزات قابلة للتعين	identifiable devices
ترشيح معلومات	Information Filtering (IF)
عدسة المعلومات	information lens
استحضار المعلومات	Information Retrieval (IR)
تشبيك متمركز حول المعلومات	Information-Centric Networking (ICN)
غني بالمعلومات	informative
مصنوع محلياً	in-house
تخبيّة/خزّن داخل الشبكة	in-network caching/storage
نموذج البريء بالمرافقة	innocent-by-association model
ترابط	interconnection
بطاقة واجهة	interface card
مضيف ذو واجهة	interfaced host
توصيلية متقطّعة	intermittent connectivity
إنترنت الطاقة	Internet of Energy (IoE)
إنترنت الأشياء	Internet of Things (IoT)

تحكُّم معتمِد على عنوان IP	IP-address-based control
في الميعاد	just-in-time (JIT)
معطيات موسومة بلصیقات	labelled data
صفحة مقصودة	landing page
تلبُّث	latency
فهرسة بالدلالة الكامنة	Latent Semantic Indexing (LSI)
حركة التصنيع الخالية من الهدر	lean manufacturing movement
خط إترنت مؤجّر من رتبة غیغابت	leased Gigabit Ethernet line
إعادة الاستعمال المشروع للمحتوى	legitimate reuse of content
استعادة معتمِدة على النشَب	lineage-based recovery
معطيات مترابطة	linked data
مجتمع محلي	local community
محلي التشكيل	locally configured
مشتركون مستوثقة مواقعهم	location-verified subscribers
انحسار لوجستي	logistic regression
المطابقة بأطول سابقة	longest prefix matching
الخزُّن المعمى الطويل الأجل	long-term encrypted storage
خُلُو من الحلقات	loop-free
ارتباط منخفض عرض الحزمة	low-bandwidth connection
التعلم الآلي	Machine Learning (ML)
كثير النوى	manycore
قيود معتمِدة على السوق	market-based restrictions
معطيات مطابقة	matching data
سرعة الرفع المستدِمة القصوى	maximum sustained upload speed
أسماء واضحة (ذات معنى)	meaningful names
منصات دفق الوسائط المتعددة	media streaming platforms
تنويه	mention
مساحة وصفية	meta-surface
سرعة الربط الدنيا بالإنترنت	minimum Internet connection speed
سرعة الرفع الدنيا المستدِمة للمزوّد ISP	minimum sustained ISP upload speed
المنتج بالحد الأدنى	Minimum Viable Product (MVP)
التحرّكية (قابلية التحرك)	mobility
إيصال متعدّد الوُجّهات	multicast delivery
متعدد النوى	multicore
إحالة على مساراتٍ متعدّدة	multipath forwarding
جودة خدمات متعدّدة المزوّدات	multiprovider QoS
سوابق الأسماء	name prefixes
تشبيك المعطيات المسمّاة	Named Data Networking (NDN)

فضاء الأسماء	namespace
اصطلاحات التسمية	naming conventions
هوائيات نانوية	nanoantennas
علم الفوتونات النانوية	nanophotonics
مقياس نانوي	nanoscale
تجهيزَة الخَزْن المَلْحَق بالشبكة	NAS (Network-Attached Storage) device
تجول	navigation
حيادية الشبكة	network neutrality
تطبيقات/معطيات مشبّكة	networked applications/data
سياسة الإحالة في الشبكة	network-forwarding policy
عصبونات	neurons
تغذية أخبارية	news feeds
مالكو العُقَد	node owners
الذاكرة التي لا يُلمّ فُتاتها	non-garbage-collected memory
عمليةٌ تقوم بها مرّةً واحدة	one-shot process
موصول بالخط	online
أسماء مُثْهمة	opaque names
استمثالات	optimizations
معطيات يتيمة	orphaned data
شحن سريع	overnight shipping
أصونة (جمع: صوان) للرزم	packet buffers
خُبْبِيَّة الرُّزْم	packet granularity
تمحيص الرُّزْم	packet inspection
ترصُد الرُّزْم	packet sniffing
ترتيب الصفحات	PageRank
مُجِسَّات أمنيّة تحت الحمراء سلبية	passive infrared security sensors
رُقعة	patch
مسرى ترابط المكوّنات الطّرفيّة السريع	Peripheral Component Interconnect (PCI) Express
خازنات دائمة (مداومة)	persistent repositories
خَزْن متغلغل	pervasive storage
تَصِيدٌ سبراني	phishing
خلايا كهروضوئية	photovoltaic cells
أنبوب	pipeline
بتمرير أنبوبي	pipelined
تمريرٌ أنبوبي	pipelining
بنية أساسية للمفاتيح العمومية	PKI (Public Key Infrastructure)
تنبؤ لاحق	Postdiction
منشورات	posts

آلة نفاذ عشوائي متوازٍ	PRAM (Parallel Random Access Machine)
إسنادية	predicate
حُقن الملامح	profile injection
ملامح	profiles
كدسة البروتوكولات	protocol stack
رَتَّب	rate (vb)
ترتيبات	ratings
مجموعات معطيات موزعة مرنة	RDDs (Resilient Distributed Datasets)
خابية قراءةٍ أماميةٍ (من الأمام)	read-ahead cache
نظام توصية	recommender system
تهذيب	refinement
درجة الصلة	relevance score
تبادل معطيات قائم على الطلب/الاستجابة	request/response data exchange
قدرة على الصمود، تكيف	resilience
بيئة مقيدة الموارد	resource-constrained environment
إعادة تغريد (أو تغريدة معادة)	retweet
هندسة عكسية	reverse engineering
جذر متوسط مربع الخطأ	Root Mean Squared Error (RMSE)
منظومات التحكم المراقب وتحصيل المعطيات	SCADA (Supervisory control and data acquisition)
توجيه متصدد	scalable routing
(بروتوكول) طبقة القبس الآمين	Secure Socket Layer (SSL)
أزمنة نَشْدان	seek times
تصنيف دلالي	semantic classification
بنيان موجّه بالخدمات	Service-Oriented Architecture (SOA)
مظارف	shells
برمجة متوازية هيكلية	skeletal parallel programming
واجهة النظام الحاسوبي الصغير	Small Computer System Interface (SCSI)
شبكة الكهرياء الذكية	smart grid
ربوط اجتماعي	social bot
بيان اجتماعي	social graph
قرص/مِسْوَق الحالة الصلبة	Solid-State Disk/Drive (SSD)
بريد واغل، رسالة واغلة	spam
ربوط واغل	spambot
معطيات منتحلة	spoofed data
التأهب	stand-by (n.)
أداة/تجهيزة/وسط/شريط خزن	storage appliance/device/medium/tape
دَفَق (دُفقية)	streaming
دراسة مسحية	survey

متعدد الأسماء	sybil
نافذة زمن توقّف للنظام	system-downtime window
تعليم أمارات	tagging
طلب إزالة المحتوى (من موقع الويب)	takedown notice
بنية محميّة من العبث	tamper-proof construction
خرائط الشرائط	tape cartridges
مشوّق الشريط	tape drive
الإعلان الموجّه	targeted advertising
مزود طرفٍ ثالث	third-party provider
عُتْبِيّ	threshold (adj)
معلومة زمن البقاء	time-to-live information
تغريد (أو تغريدة)	tweet
قنبلة تويتر	twitter bomb
منتشر في كل مكان	ubiquitous
إمكان الانتشار في كل مكان	ubiquity
فكّ التعمية غير المرخص	unauthorized decryption
سرعة/زمن رفع (المعطيات)	upload speed/time
عُقْدٍ منبع	upstream nodes
مسرى تسلسلي عميم	USB (universal serial bus)
نفعية	utility
نفعي التوجه	utility-oriented
شبكات مرتجلة خاصة بالمركبات	VANETs (vehicular ad hoc networks)
واضعو الرؤى	visionaries
نماذج قائمة على شبكة ثقة	web-of-trust models
معطيات محجوبة	withheld data
يَحجب	withhold (vb)
جِمل (أحمال)	workload(s)