

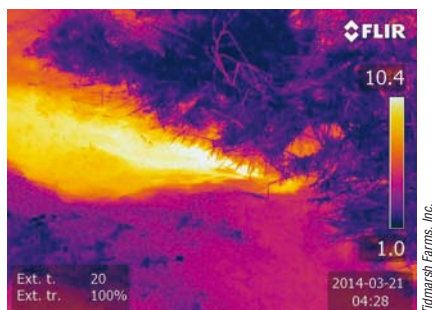
Certaines de ces applications aideront les écologues à visionner les données environnementales recueillies. D'autres seront destinées au grand public. Par exemple, nous développons un navigateur du type de *DoppelLab* qui permettra de visiter virtuellement Tidmarsh à partir de n'importe quel ordinateur disposant d'une connexion Internet. Le visiteur se promènera dans une image numérique des tourbières, remplies d'arbres et de végétation virtuels. Le moteur de jeu ajoutera les sons du réseau de microphones et les données recueillies par les capteurs. Les sons subiront un traitement de fondu enchaîné, en fonction de la position virtuelle de l'utilisateur ; vous pourrez vous élever au-dessus de la zone et entendre tout ce qui s'y passe, vous approcher d'un petit secteur, ou nager sous l'eau et écouter les bruits collectés par les hydrophones. Un vent numérique, fidèle aux données recueillies en temps réel sur le site, soufflera dans les arbres virtuels.

L'Observatoire vivant est plus un projet de démonstration qu'un prototype commercial, mais les applications sont faciles à imaginer. Les agriculteurs pourraient utiliser un tel système pour surveiller des terrains quadrillés de capteurs, afin de suivre l'évolution de l'humidité, les concentrations d'engrais et de pesticides, ou la présence d'animaux dans leurs cultures. Des équipes de secours pourraient surveiller la progression des tempêtes et des inondations dans une ville pendant qu'elles portent assistance aux habitants. Cette technologie aurait aussi de multiples applications dans la vie quotidienne : elle permettrait par exemple de vérifier l'ambiance d'un restaurant (est-il bondé et bruyant ?) avant de s'y rendre.

Une présence virtuelle

Il nous arrive déjà d'utiliser *DoppelLab* pour nous connecter à notre laboratoire quand nous sommes en déplacement. En percevant le bourdonnement et l'activité qui y règnent, nous nous sentons un peu plus proches de chez nous. De même, les voyageurs pourraient s'immerger dans une projection virtuelle de leur domicile pour passer du temps avec leur famille quand ils en sont éloignés.

La prochaine vague de l'informatique sera probablement dominée par les dispositifs portables. Ce sera l'occasion d'inventer des façons plus naturelles d'interagir avec les données des capteurs. Les appareils



LES DONNÉES DE CAMÉRAS INFRAROUGES, placées dans la tourbière des Tidmarsh Farms, sont transmises à des observateurs distants. Ceux-ci peuvent alors repérer de l'eau souterraine (en jaune) qui se mélange à de l'eau de surface, plus froide. La température de cette dernière évolue comme celle de l'air, tandis que celle de l'eau souterraine reste stable toute l'année.

BIBLIOGRAPHIE

J. Lifton et al., *Metaphor and manifestation : Cross reality with ubiquitous sensor/actuator networks*, *IEEE Pervasive Computing*, vol. 8(3), pp. 24-33, 2009.

V. Vinge, *Rainbow's End*, Tor Books, 2006.

M. Weiser, *Les réseaux informatiques de l'an 2000*, *Pour la Science*, n° 169, 1991.

électroniques portables pourraient *de facto* devenir des prothèses sensorielles.

Les chercheurs développent depuis longtemps des dispositifs de substitution sensorielle, qui visent à compenser un handicap perceptif en réorientant les signaux électriques émis par des capteurs placés sur le corps vers les sens opérationnels du patient. Par exemple, un dispositif pour non-voyants comprend une caméra placée sur des lunettes et une plaque d'électrodes qui stimule la peau d'une façon caractéristique de l'image enregistrée. Des travaux récents suggèrent que grâce à la neuroplasticité (la capacité du cerveau à s'adapter à de nouveaux stimulus), des stimulus artificiels transmis aux canaux sensoriels pourraient être intégrés de la même façon que des perceptions naturelles. Mais il reste un fossé entre les données de réseaux de capteurs et l'expérience sensorielle humaine.

Des prothèses dirigées par l'attention

Selon nous, l'une des clefs pour débloquent le potentiel des prothèses sensorielles sera de mieux s'accorder avec l'état attentionnel de la personne qui les porte. Aujourd'hui, les dispositifs portables les plus évolués, tels que les *Google Glass*, font office d'assistants extérieurs qui suggèrent à leur propriétaire des informations pertinentes selon le contexte (ils lui recommandent par exemple un certain film lorsqu'il passe devant un cinéma). Mais ces suggestions ont souvent un effet perturbateur, voire agaçant, ce qui n'est pas le cas avec nos systèmes sensoriels. Ces derniers permettent de prêter attention ou pas aux stimulus, et ce de façon dynamique ; on peut se mettre à l'écoute d'un sens quand on l'estime nécessaire, ou choisir de rester concentré sur ses activités.

Nous cherchons alors à développer des dispositifs qui intègrent cette capacité du cerveau à se focaliser sur certaines tâches tout en maintenant une connexion « préattentive » à l'environnement. Notre première expérience déterminera si un dispositif portable peut trouver, parmi un ensemble de sources sonores, laquelle l'utilisateur écoute. Nous aimerions permettre à ce dernier de se mettre à l'écoute des sons retransmis en direct par les microphones et les hydrophones de Tidmarsh de la même façon que s'il s'agissait de sources naturelles. Imaginez que vous vous concentriez sur une île éloignée au milieu d'un étang, et

Une plate-forme expérimentale en France : FIT-IoT LAB

Les problématiques de recherche autour des réseaux de capteurs sont multiples. Elles vont de la miniaturisation et la biodégradabilité des composants aux protocoles de communication, en passant par l'extinction périodique des capteurs pour économiser leur énergie.

Ces recherches ont produit des résultats prometteurs par des simulations, mais elles souffrent d'un manque d'expérimentations. Et si certaines expérimentations sont menées, c'est en général à petite échelle, avec des réseaux composés d'une dizaine de nœuds au plus (car chaque nœud, qui comporte plusieurs capteurs, doit être configuré individuellement, une opération fastidieuse).

C'est pourquoi la plate-forme FIT-IoT LAB a été créée. C'est

l'une des plates-formes de l'« équipement d'excellence » FIT (pour *Future Internet of Things*, futur Internet des objets) régi par l'Université Pierre et Marie Curie, Inria, l'Université de Strasbourg, l'Institut Mines Telecom et le CNRS. FIT fédère plusieurs plates-formes d'expérimentation dans le domaine de l'Internet des objets, ce qui permet à des utilisateurs académiques et industriels de réaliser des expériences.

FIT-IoT LAB (pour *Internet of Things Laboratory*) donne accès

à plus de 2700 capteurs sans fil tels que ceux déployés au MIT ou à Tidmarsh et répartis sur plusieurs sites (Lille, Grenoble, Paris, Strasbourg et Rennes). Plus de 200 d'entre eux sont mobiles, portés soit par des trains électriques miniatures, soit par des robots de divers types. On peut ainsi expérimenter des modèles de mobilité très différents.

FIT-IoT LAB propose à ses utilisateurs des tutoriels et des outils permettant d'estimer finement les consommations énergétiques des capteurs. Lorsqu'un utilisateur souhaite utiliser la plate-forme, il se connecte à distance avec un navigateur Web classique. De là, il réserve les nœuds dont il a besoin (caractéristiques,

nombre, topologie du réseau), configure les éléments qu'il souhaite récupérer au travers de son expérimentation et charge son programme informatique. Lorsque les ressources sont disponibles, le programme est téléchargé automatiquement sur les capteurs choisis et l'expérimentation est lancée. S'il le souhaite, l'utilisateur peut également interagir avec son réseau de capteurs en temps réel.

De par ces caractéristiques, FIT-IoT LAB est une plate-forme unique au monde. Elle compte aujourd'hui plus de 300 utilisateurs (dont une dizaine d'industriels) de plus de 40 pays.

– Nathalie Mitton
et David Simplot-Ryl
Inria Lille-Nord Europe

que vous commenciez peu à peu à entendre les sons qui en proviennent, comme si vos oreilles étaient capables d'augmenter leur portée. Ou que vous marchiez le long d'un ruisseau et que vous perceviez les bruits produits sous l'eau. Ou encore, que vous leviez le regard et que vous entendiez le chant d'un oiseau en haut d'un arbre. Cette façon de traiter les informations numériques marquerait le début d'une connexion fluide entre nos systèmes sensoriels et les données des réseaux de capteurs. Dans le futur, des implants sensoriels ou neuraux assureront probablement cette connexion.

Rêve ou cauchemar ?

Pour de nombreuses personnes, y compris nous-mêmes, le monde que nous venons de décrire a un côté inquiétant. Cette forme de présence virtuelle changerait notre relation au monde et aux autres. Plus préoccupant, l'informatique ubiquitaire risque d'empiéter sur la vie privée. Mais nous pensons que des garde-fous peuvent être érigés de plusieurs façons.

Il y a une dizaine d'années, Mat Laibowitz, qui travaillait dans notre laboratoire, y a déployé 40 caméras et capteurs. Il a intégré un gros interrupteur à chaque appareil, afin de pouvoir le désactiver faci-

lement. Aujourd'hui, trop de caméras, de microphones et d'autres capteurs sont éparpillés un peu partout pour qu'un individu puisse les éteindre un par un, quand bien même ils seraient équipés d'un interrupteur. Nous devons trouver d'autres solutions.

L'une des approches consiste à concevoir des capteurs qui s'adaptent au contexte et aux préférences de la personne. C'est ce qu'a réalisé Nan-Wei Gong quand elle faisait partie de notre groupe de recherche, il y a quelques années. Elle a construit un porte-clés qui transmettait par les ondes aux capteurs proches les préférences de son utilisateur en matière de vie privée. Son dispositif était doté d'un gros bouton «Non» qui, lorsqu'il était pressé, empêchait tous les capteurs à proximité de transmettre leurs données pendant un certain temps ; l'utilisateur avait alors la garantie d'un instant d'intimité.

Quelles que soient les solutions retenues, les capteurs entourant une personne devront pouvoir honorer de telles requêtes. La conception des protocoles nécessaires présente des défis techniques aussi bien que légaux. Des chercheurs du monde entier étudient déjà diverses approches pour les surmonter. Par exemple, la loi pourrait donner à chacun la propriété des données créées dans son voisinage ; on

serait alors libre de crypter ces données ou de les empêcher de rejoindre le réseau.

L'un des objectifs du *DoppelLab* et de l'Observatoire vivant est d'analyser dans un espace sécurisé comment se manifestent en pratique ces difficultés liées au respect de la vie privée. À mesure que les dangers de la technologie se révèlent, nous essayons de trouver des solutions. Comme l'illustrent les révélations récentes de l'ancien employé de la NSA Edward Snowden, la transparence est essentielle et les menaces sur la vie privée doivent être prises en compte dans la législation, après un débat public. À défaut, nous pensons que la meilleure protection contre les atteintes du système à la vie privée serait de développer les matériels et logiciels nécessaires aux réseaux de capteurs en *open source*, c'est-à-dire en mettant les informations sur leur fonctionnement à la disposition de chacun.

Pendant ce temps, nous commencerons à vivre de nouvelles expériences dans un monde de capteurs. Les perspectives nous enthousiasment. Selon nous, il est possible de développer des outils qui s'incorporent à notre environnement et à nos corps. Grâce à eux, nous n'aurons plus le nez collé à nos écrans de téléphone et nous serons plus que jamais présents dans le monde qui nous entoure. ■

■ POUR LA

ou en renvoyant le bon de commande ci-contre.