

L'informatique passe-muraille

30



Que se passe-t-il derrière ce mur ?
Pour le savoir, l'imagerie dite « hors ligne de visée » exploite les faibles signaux disponibles, comme les ombres ténues. Il est alors possible de révéler ce que nos yeux ne voient pas.

Natalie Wolchover

En 2012, alors en vacances sur la côte espagnole, Antonio Torralba, chercheur à l'institut de technologie du Massachusetts (le MIT), remarque sur le mur de sa chambre d'hôtel des ombres fugaces qui ne semblent correspondre à aucun objet de la pièce. D'où venaient-elles ? En fait, les taches décolorées n'étaient pas des ombres, mais plutôt une image renversée et très floue du patio situé à l'extérieur. Sa fenêtre agissait comme un sténopé – la forme la plus simple de caméra, où les rayons de lumière traversent un petit trou et forment une image inversée de l'autre côté sur un écran. L'image était à peine visible, mais un constat s'imposait : le monde est imprégné d'informations visuelles que nos yeux sont incapables de percevoir.

DES CAMÉRAS ACCIDENTELLES

À partir de là, ce spécialiste de la vision par ordinateur et son collègue Bill Freeman ont mis en évidence l'ubiquité de ces « caméras accidentelles », comme ils les nomment. Celles-ci sont des fenêtres, des angles de mur, des plantes d'intérieur et d'autres objets communs qui créent des images ténues, invisibles à l'œil nu, de leur environnement. Mais « nous avons trouvé le moyen de les rendre visibles », s'enthousiasme Bill Freeman.

Dans leur première étude, les deux chercheurs ont montré que la lumière changeante sur le mur d'une chambre, filmée avec un simple smartphone, peut être traitée pour révéler la scène qui se déroule à l'extérieur, de l'autre côté de la fenêtre.

En automne 2017, avec leurs collaborateurs, ils rapportaient avoir repéré quelqu'un se déplaçant de l'autre côté d'un angle de mur en filmant le sol près de ce coin. En été 2018, à partir des ombres disparates projetées par les feuilles d'une plante d'intérieur, ils ont reconstruit une image tridimensionnelle du reste de la pièce.

En amplifiant les vibrations qui les secouent sous l'effet d'ondes sonores, ces feuilles, ou un autre support, deviennent même un « microphone ». Ainsi, en filmant à travers une fenêtre insonorisée, les scientifiques ont reconstruit les paroles d'un individu à partir des mouvements que la voix imprimait à un... paquet de chips vide. Il s'agissait de « Mary avait un petit agneau... », les premiers mots qu'enregistra Thomas Edison avec un phonographe en 1877.

La recherche sur la vision au-delà des angles et sur l'exploitation d'informations quasi imperceptibles est l'« imagerie hors ligne de visée ». Elle a pris son essor au début des années 2010 avec la publication d'Antonio Torralba et de Bill Freeman sur



© R. Fisker

les caméras accidentelles et celle tout aussi décisive d'un groupe distinct du MIT dirigé par Ramesh Raskar, nous y reviendrons. En 2016, séduite par ces résultats, l'Agence américaine pour les projets de recherche avancée de défense (Darpa) a lancé un programme de 27 millions de dollars, nommé Reveal (pour « Revolutionary Enhancement of Visibility by Exploiting Active Light-fields »), visant à financer dans tout le pays un certain nombre de laboratoires s'intéressant à ce domaine naissant. Depuis, de nouvelles idées et astuces mathématiques ont rendu l'imagerie hors ligne de visée encore plus efficace.

Outre des applications militaires et d'espionnage évidentes, les chercheurs envisagent des utilisations dans les voitures autonomes, la vision des robots, l'imagerie médicale, l'astronomie, l'exploration spatiale et les missions de recherche et sauvetage.

L'INTERPRÉTATION DES OMBRES

Cependant, Antonio Torralba et Bill Freeman ne pensaient pas à ces répercussions pratiques. Ils ne s'intéressaient qu'aux principes de la formation d'une image et au fonctionnement d'une caméra. Ces questions les ont naturellement conduits à une enquête plus complète sur le comportement de la lumière et sur ses interactions avec des objets dans notre environnement. C'est alors qu'ils ont commencé à voir des choses que personne n'avait pensé à chercher. D'ailleurs, rappelle Antonio Torralba, des études psychologiques ont montré « que les humains sont vraiment mauvais

— En bref —

> Même cachée, une scène se trahit par des reflets, des ombres... que des caméras peuvent capter.

> L'analyse par ordinateur de ces signaux reconstruit une image et renseigne ce qui était invisible.

> Encore à leurs balbutiements, ces techniques prometteuses sont en progrès constants.

> Elles équiperont un jour les véhicules autonomes et trouveront des applications en astronomie.

→
Le patio, à l'extérieur de la chambre d'hôtel où Antonio Torralba a remarqué que sa fenêtre agissait comme un sténopé accidentel (a). L'image floue du patio sur le mur (b) peut être rendue plus nette (c) en couvrant une grande partie de la fenêtre avec du carton pour réduire la taille du sténopé. Vue à l'envers (d), l'image révèle la scène d'extérieur.

lorsqu'il s'agit d'interpréter des ombres. Peut-être est-ce parce que beaucoup des choses que nous voyons ne sont pas vraiment des ombres, et notre œil renonce à essayer de leur donner un autre sens ».

Les rayons lumineux porteurs des images du monde situé hors de notre champ de vision frappent constamment les murs et d'autres surfaces et se réfléchissent jusque dans nos yeux. Mais pourquoi ces « vestiges visuels » sont-ils si ténus ? C'est parce que ces rayons existent en trop grand nombre et voyagent dans trop de directions différentes. Ils s'affaiblissent.

Pour donner forme à une image, la quantité de rayons lumineux qui atteignent une surface donnée doit être fortement réduite de sorte que seuls quelques rayons en particulier soient vus. C'est justement la fonction d'un sténopé. En 2012, l'idée initiale d'Antonio Torralba et de Bill Freeman consistait à dire que notre environnement restreint naturellement les rayons lumineux, mais que les images floues qui subsistent restent suffisantes pour être traitées par des ordinateurs.

Plus l'ouverture d'un sténopé est étroite, plus l'image résultante est précise. La fenêtre de la chambre d'hôtel d'Antonio Torralba était trop grande pour produire une image claire. Cependant, avec Bill Freeman, ils ont suivi la piste de la caméra antisténopé. L'idée est la suivante : un petit point opaque placé devant un film (là où dans un sténopé on trouverait le trou), en bloquant certains rayons lumineux, conduit à la formation d'une image correspondant à l'ombre des éléments d'une scène, une image en négatif. Dès lors, dans