

les changements de couleur, mais aussi les mouvements imperceptibles.

Dans des travaux antérieurs avec d'autres collègues, nous nous étions intéressés à l'amplification de mouvements infimes dans des vidéos. Nous avons utilisé des logiciels spécialisés qui modélisent et calculent le vecteur déplacement de chacun des pixels de l'image. Ce traitement était lourd et sujet à des erreurs. Nous étions maintenant stupéfaits : notre nouvelle approche parvenait à faire la même chose avec des calculs simples et sans recourir aux laborieux vecteurs du mouvement.

De la couleur au mouvement

Pourquoi les changements de couleur accentués grossissaient-ils aussi ces petits mouvements ? Pour le comprendre, nous avons étudié comment le mouvement dans une vidéo se traduit en termes de changements locaux de couleur. Imaginez une balle éclairée par la droite : le côté droit de la balle est lumineux et le côté gauche est sombre. Considérez un pixel donné sur l'écran : si la balle traverse l'écran de gauche à droite, le pixel représente d'abord un point éclairé de la balle, puis s'assombrit à mesure qu'il représente un point de plus en plus à gauche de la balle. La variation dépend de la vitesse de la balle et de la transition abrupte de luminosité entre les côtés gauche et droite de la balle, ce qu'on nomme le gradient de couleur. Mathématiquement, le changement de couleur d'un pixel par unité de temps est égal au produit de la vitesse de l'objet par le gradient de couleur.

Notre algorithme, bien sûr, ne connaît ni les gradients de couleur ni la vitesse des objets dans les vidéos. Toutefois, parce qu'il amplifie le changement de couleur en chaque point quand la balle se déplace d'une fraction de centimètre vers la droite, il amplifie aussi ce mouvement infime de la balle pour le rendre visible à vos yeux. De la même façon, les couleurs des pixels représentant des points particuliers de la poitrine d'un bébé changent à mesure que celui-ci respire, et en accentuant les changements de couleur, on rend beaucoup plus visible le très léger mouvement de la poitrine.

La différence entre nos précédents travaux portant sur les vecteurs déplacement et notre nouvelle approche fondée sur les variations temporelles de couleur est une question de perspective. En faisant une

■ LES AUTEURS



Frédo DURAND est professeur de génie électrique et d'informatique au MIT (Institut de technologie du Massachusetts). Il est spécialiste des techniques numériques de photographie.



William FREEMAN est professeur de génie électrique et d'informatique au MIT. Il étudie l'application de l'intelligence artificielle à la vision par ordinateur.



Michael RUBINSTEIN est chercheur chez Google ; il travaille sur la vision par ordinateur.

L'ESSENTIEL

■ **Même quand ils semblent à nos yeux parfaitement immobiles, les objets et les personnes sont animés de minuscules mouvements.**

■ **En amplifiant les changements de couleur des pixels d'une vidéo image après image, les chercheurs ont créé un « microscope du mouvement » qui rend ces transformations visibles.**

■ **Cet outil peut rendre de nombreux services : suivi du rythme cardiaque ou de la respiration, recherche de défauts de fonctionnement dans des machines, etc.**

analogie avec une rivière, la différence revient à suivre le mouvement de l'eau ou à rester immobile au milieu du courant. C'est ce changement de point de vue qui rend nos calculs beaucoup plus simples. En mécanique des fluides, les physiciens utilisent ces deux approches pour modéliser les écoulements : l'approche dite lagrangienne consiste à suivre une quantité donnée de fluide lors de son déplacement dans l'espace, comme un observateur sur un bateau suit le flot d'une rivière ; à l'inverse, l'approche dite eulérienne fixe un lieu de l'espace et étudie le fluide qui y passe, comme si l'observateur se tenait sur un pont.

Nous avons adopté le point de vue lagrangien dans nos premiers travaux, et nous étions comme des observateurs sur un bateau : les pixels sont suivis sur la vidéo et déplacés de point en point suivant des vecteurs amplifiés. En revanche, notre nouvelle approche considère le changement de couleur en un lieu fixe, comme lorsque l'observateur reste sur le pont. Cette perspective locale ne s'applique qu'à de petits mouvements, mais elle est beaucoup plus simple et robuste. À l'aide de cette technique, un ordinateur traite rapidement une vidéo, alors que nos travaux précédents nécessitaient un long temps de calcul, avec des erreurs fréquentes.

Amplification eulérienne

En 2012, dans un article traitant de cette méthode que nous nommons « amplification vidéo eulérienne », nous avons décrit plusieurs exemples d'utilisation, dont le changement de couleur d'un visage sous l'effet de la circulation sanguine, mais aussi l'observation des mouvements respiratoires d'un nourrisson, amplifiés de telle sorte que les parents d'un nouveau-né pourraient surveiller un signal vidéo accentué afin de vérifier que le bébé bouge.

Nous avons aussi pris une vidéo à grande vitesse d'une guitare dont toutes les cordes vibraient et nous avons sélectionné d'étroites bandes de fréquences autour de certaines notes pour isoler et amplifier une corde à la fois, par exemple l'intervalle entre 72 et 92 hertz pour la corde de mi grave vibrant à 82 hertz. Les autres cordes paraissaient absolument immobiles.

Nous avons créé un site Internet où les gens pouvaient télécharger leurs vidéos et appliquer notre outil d'amplification du mouvement (*pour des exemples, voir <https://lambda.grilab.com/site/>*). Les visiteurs