

L'ENSIC, l'ESPCI ParisTech,
Chimie ParisTech et l'ECPM
vous invitent au :

FORUM HORIZON CHIMIE

30^{ème} anniversaire !

Jeudi 4 février 2016
9h00 - 18h00

Une rencontre privilégiée avec une quarantaine d'entreprises et l'opportunité de postuler à des offres de stage et d'emploi dans des domaines allant de l'énergie à l'agro-alimentaire, en passant par la cosmétique, le secteur pharmaceutique, les sciences des matériaux et les biotechnologies.

Stands d'exposition, conférences, tables rondes, simulations d'entretiens d'embauche et corrections de CV seront mis en place afin de vous aider à approfondir votre projet professionnel et faciliter votre entrée dans le monde du travail.



Pour plus de renseignements:
06 22 23 85 58
www.horizon-chimie.fr

> Entrée libre
Maison de la Chimie
28 bis rue Saint-Dominique
75 007 Paris
Métro Invalides



Capter les mou

En amplifiant d'imperceptibles variations de couleurs d'une image à l'autre d'une séquence vidéo, on détecte des mouvements infimes. Avec des applications aussi bien en médecine qu'en ingénierie.

Les premiers microscopes, aux XVI^e et XVII^e siècles, ont transformé des lamelles de verre en apparence complètement transparentes en un univers grouillant de bactéries, de cellules, de grains de pollen et de cristaux complexes. Grâce à ces instruments, les scientifiques ont accédé à un monde invisible à l'œil nu.

À notre avis, un nouveau type de microscope est en passe de dévoiler un autre monde tout aussi nouveau et fascinant : un monde de mouvements et de variations de couleurs trop infimes pour être saisis par l'œil humain. Les pulsations sanguines qui parcourent un visage le rendent tour à tour plus rouge ou plus blanc, le vent peut

faire osciller très légèrement une grue de chantier, et la respiration d'un bébé est souvent si subtile qu'elle échappe à notre regard. Ces changements sont extrêmement petits, mais peuvent être importants. Ils révèlent notre état de santé ou des vibrations parasites d'une machine sur le point de tomber en panne. Avec nos collègues, nous avons développé un « microscope du mouvement », qui associe une caméra vidéo et un logiciel de traitement d'images approprié. Cet outil amplifie les mouvements qui animent des personnes ou des objets complètement immobiles en apparence.

Nous avons découvert notre microscope du mouvement par un heureux

hasard. Initialement, nous travaillions sur un projet visant à mesurer de minuscules changements de couleur, trop faibles pour être distingués à l'œil nu.

Notre objectif initial était d'utiliser une caméra vidéo pour mesurer le pouls d'une personne en détectant les minuscules variations de couleur dues à la circulation du sang dans son visage, rythmée par les battements du cœur. Le changement de couleur de chacun des pixels en réponse à la circulation sanguine est de seulement 0,2 % sur un cycle cardiaque. Or les capteurs des caméras ne détectent pas des valeurs exactes et ils enregistrent aussi du bruit aléatoire, dont l'amplitude est souvent



vêtements invisibles

Frédo Durand, William Freeman et Michael Rubinstein

supérieure à 0,2 %. Ce bruit masque donc les variations de rougeur.

En 2010, Rosalind Picard, Ming-Zher Poh et Daniel McDuff, du Media Lab du MIT (Institut de technologie du Massachusetts) avaient pu mesurer le pouls à partir des variations de couleur, mais nous avions l'intuition que leurs calculs, faisant intervenir des notions mathématiques élaborées, étaient plus compliqués que nécessaire.

Avec notre étudiant Hao-Yu Wu, John Guttag, du MIT, et Eugene Shih, alors à Quanta Research Cambridge, nous avons décidé de remplacer le nombre représentant la couleur de chaque pixel par une moyenne de tous les pixels voisins. Cette méthode réduit le bruit puisque ces fluctuations aléatoires ont tendance à se compenser mutuellement dans un groupe de pixels assez grand. Nous avons aussi éliminé les changements de couleur qui se produisaient plus rapidement ou plus lentement que les valeurs typiques du pouls chez l'adulte à l'état de repos.

Notre approche simple s'est révélée fructueuse pour convertir les changements de pixels en nombre de battements par minute. Mais ces changements de couleur étaient invisibles à nos yeux, et nous voulions voir à quoi ils ressemblaient. En amplifiant d'un facteur 100 les changements de rougeur, nous sommes parvenus à voir clairement le visage d'un homme adulte rougir à chaque battement de cœur.

Cette technique fonctionne aussi pour les bébés. Avec les médecins Donna Brezinski et Karen McAlmon, alors à l'hôpital de Winchester, dans le Massachusetts, nous avons filmé des nouveau-nés avec un appareil photo numérique classique. En utilisant notre technique d'amplification, nous avons mesuré le pouls sur la vidéo ; il correspondait parfaitement à celui mesuré par un cardiofréquencemètre attaché à un doigt du bébé. Une telle mesure du pouls, sans contact, pourrait être utile pour les nouveau-nés prématurés, si fragiles qu'il vaut mieux éviter de les toucher. Pour les adultes, ces visualisations permettront,

par exemple, de détecter des anomalies de la circulation sanguine susceptibles de traduire des problèmes de santé, tels que des asymétries de la circulation sanguine entre les côtés gauche et droit du corps.

Un monde toujours en mouvement

Nos vidéos nous ont confrontés à une énigme. Afin de simplifier le traitement des couleurs, nous avons demandé aux sujets adultes qui se tenaient devant nos caméras de se tenir immobiles, et leur tête semblait effectivement dénuée de mouvements dans les vidéos initiales. Mais quand nous avons regardé les résultats amplifiés, nous avons remarqué que les têtes bougeaient. Notre technique semblait accentuer non seulement

EN AMPLIFIANT LES VARIATIONS de couleurs du visage, le rougissement de la peau dû à la circulation sanguine devient visible. Cette technique permet de mesurer le pouls, mais aussi de révéler des mouvements infimes.

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