

Les multiples facettes des imageurs multivoies

Par leur capacité à traiter l'information spatiale ou spectrale d'une scène suivant différentes voies, les imageurs multivoies s'inspirant de la vision des invertébrés [1] offrent une liberté supplémentaire au concepteur de systèmes optiques. Cette nouvelle approche de conception peut être mise à profit pour réaliser des caméras à la fois compactes et performantes.

>> Guillaume DRUART
Nicolas GUÉRINEAU
Florence DE LA BARRIÈRE
Grégory VINCENT
Onera - DOTA/CIO
guillaume.druart@onera.fr

Les systèmes optiques utilisés pour obtenir des informations spatiales ou spectrales de la scène observée que sont les caméras ont fortement évolué depuis plus de 500 ans puisqu'ils sont passés de la *camera obscura*, composée simplement d'un sténopé (trou percé dans une boîte ou chambre noire) et d'un écran blanc, à des caméras composées d'une multitude d'optiques parfois asphérisées et formant une image sur des détecteurs de plus en plus sensibles.

Cependant, si les caméras ont évolué vers de meilleures performances, vers plus de compacité et vers la détection d'ondes lumineuses invisibles à l'œil nu – notamment dans l'infrarouge – leurs architectures optiques s'appuient sur un même principe : un alignement des optiques et du détecteur suivant un même axe optique.

Et ce n'est pas un hasard si cette architecture a été privilégiée : elle s'inspire de la vision des vertébrés, et plus particulièrement de notre vision ! Ces caméras produisent donc des images que nous pouvons aisément interpréter. Néanmoins, notre condition humaine ne doit pas occulter l'ingéniosité qu'a mise en œuvre la nature pour donner une vision appropriée à chaque animal !

Filmer comme un invertébré...

Ainsi, une étude plus attentive sur la vision des animaux met en lumière une grande variété d'architectures optiques. Cette richesse se retrouve plus particulièrement dans la vision des invertébrés où l'on observe une prééminence des architectures optiques multivoies (par exemple les yeux à facettes apposées et les yeux à facettes superposées), notamment – semble-t-il – pour les animaux à une faible capacité d'emport (c'est-à-dire n'ayant pas de place ou pas assez d'énergie pour utiliser des yeux volumineux) ayant besoin d'une vision très grand champ (supérieure à 180°).

Les progrès importants faits en microtechnologie, notamment dans la réalisation des matrices de microlentilles a encouragé l'Onera, en collaboration avec le CEA Leti et l'Institut d'optique, à explorer différentes architectures de systèmes multivoies et, notamment,

trois manières différentes de répartir l'information de la scène suivant différentes voies selon qu'on l'on veuille obtenir une vision décalée, éclatée ou multicolore de la scène.

Pour étudier le chaînon manquant des imageurs que semble être l'architecture multivoies et les propriétés des systèmes multivoies, nous avons développé un prototype appelé Multicam. Il est constitué de trois matrices de microlentilles devant lesquelles il est possible d'ajouter des dispositifs optiques (filtres, déflecteur...). Le système optique de base est composé de 5x5 voies élémentaires, associées à un détecteur matriciel infrarouge (figure 1). Pour être refroidi, le tout est entièrement intégré dans un cryostat.

... pour avoir une vision décalée

L'évolution des espèces n'a pas favorisé la vision du cyclope – qui est pourtant l'architecture sélectionnée pour nos

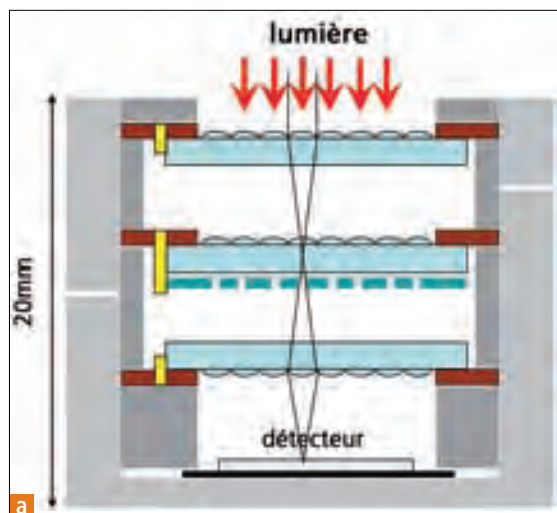


Figure 1. Schéma de principe de la caméra Multicam (a) et photo de l'architecture optique intégrée dans sa monture (b). Les trois variantes sont obtenues en ajoutant des éléments optiques à l'entrée.

caméras traditionnelles – mais la vision stéréo qui nécessite au moins deux voies optiques et apporte une information sur la position relative de différents objets, et donc une impression 3D de la scène.

Cela est possible grâce au décalage spatial des voies optiques, appelé parallaxe, qui entraîne un changement dans la position apparente d'un objet : chaque voie optique enregistre « sa » vision de la scène, son « imagerie », et l'ensemble permet une estimation de l'éloignement car le décalage apparent de l'objet d'une imagerie à une autre s'atténue lorsque l'objet s'éloigne du système optique ou lorsque l'écartement des voies diminue.

Lorsque l'écartement des voies est trop faible, le système optique peut être conçu de manière à ce que le décalage de la scène observée entre les différentes images prenne des valeurs inférieures à la zone active des pixels. Contrairement à la configuration 3D, le décalage des objets entre eux est alors le même et c'est ainsi la possibilité d'un meilleur échantillonnage qui est exploitée, par recombinaison des différentes images via des algorithmes de super-résolution permettant d'obtenir une image mieux échantillonnée et, donc, de meilleure résolution.

Ainsi, si le décalage spatial des différentes voies peut être mis à profit pour donner une impression 3D au système, impression fondamentale pour tout système souhaitant s'orienter dans l'espace, il peut également être utilisé pour améliorer sa résolution angulaire en combinant la rapidité d'acquisition des capteurs matriciels avec l'efficacité d'échantillonnage des monodétecteurs. Cette propriété a notamment été mise à profit pour miniaturiser certains systèmes optiques tout en maintenant leur résolution angulaire.

► La caméra Multicam configurée pour une vision décalée permet l'acquisition d'images de la même scène avec des décalages sub-pixeliques. Un test sur une mire, dont chaque image prise individuellement est mal échantillon-

née par le détecteur et nous trompe sur l'orientation des barreaux, montre bien que la combinaison des images permet d'améliorer l'échantillonnage et de retrouver la bonne orientation des barreaux et la période de la mire [2].

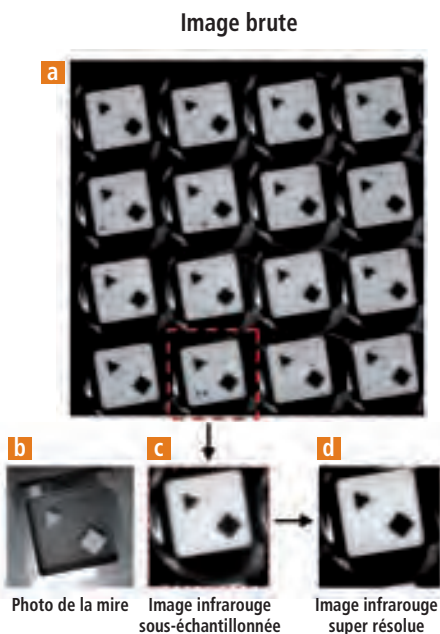


Figure 2. Vision décalée d'une mire par Multicam : acquisition simultanée de plusieurs images identiques mais légèrement décalées. a. Mire imagée par Multicam. b. Photo de la mire prise par un appareil photo. c. Imagerie brute infrarouge mal échantillonnée. d. Combinaison des différentes images pour obtenir une image de meilleure résolution.

... pour avoir une vision éclatée

La seconde manière de répartir l'information s'inspire directement de la vision des invertébrés. En effet, ces derniers ont un système visuel constitué d'une multitude de voies optiques s'appuyant sur une structure convexe. Ces voies peuvent être des systèmes optiques indépendants réparties à différents endroits du corps comme la « jumping spider » et *le Xenos Peckii* ou être regroupées ensemble pour former un œil à facette (comme la libellule), avec un point commun : chacune des voies possède un axe optique ayant sa propre orientation et visualise donc une partie différente de la scène. Cette architecture permet de réaliser simplement un système très grand champ tout en maintenant une ►►

InfraTec

Détecteurs pyroélectriques multicanaux compacts LIM-253



Pour l'Analyse IR des Gaz

Détecteurs

LASER COMPONENTS

- Trois gammes spectrales en boîtier TO39 (ø 9,2 mm)
- Compensation thermique, JFET intégré, mode tension
- Filtres NBP standards pour gaz CO₂, CH₄, CO, HC, NO_x

www.lasercomponents.fr

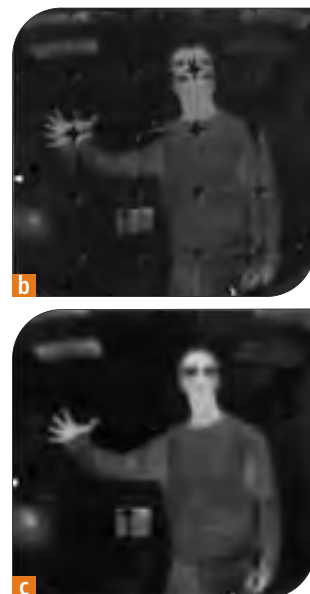
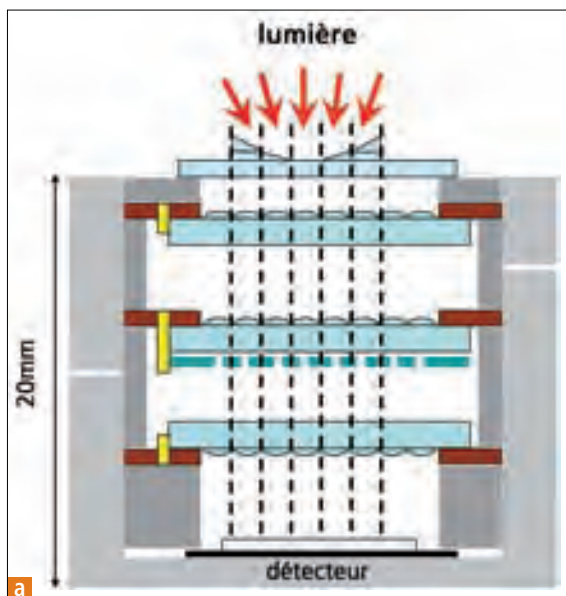
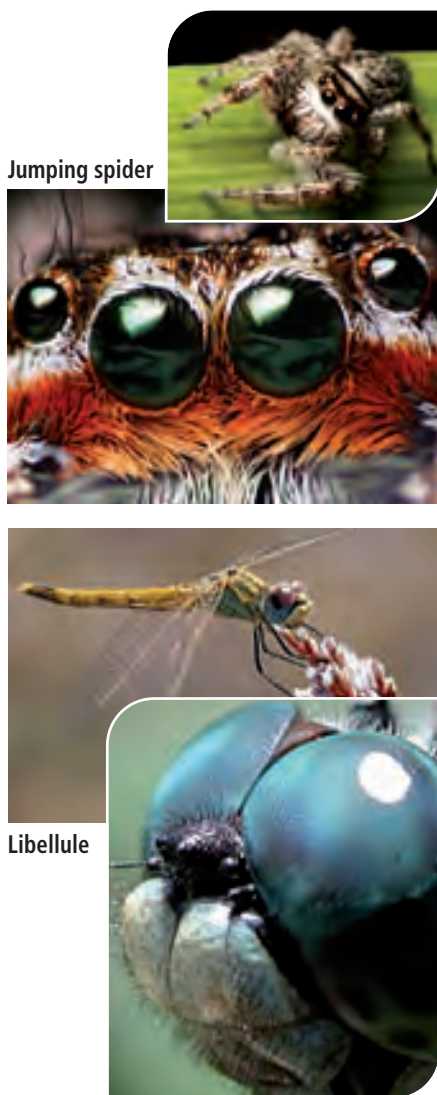


Figure 3. Vision éclatée par Multicam : schéma de principe de la caméra à laquelle est ajouté un défecteur (a), image brute obtenue (b) et image de la scène restaurée (c).

est alors possible d'obtenir une image « grand champ » à partir de l'image brute composée de visions partielles de la scène, sans lacunes spatiales si on prend la précaution de prévoir des zones de recouvrement (figure 3).

... pour avoir une vision multicolore

Plus surprenant encore, l'information spectrale et polarimétrique de la scène peut être répartie suivant différentes voies optiques, comme sait le faire le squille (ou crevette mante). Cet invertébré possède au niveau de l'équateur de chaque œil une rangée de voies spécialisées à une bande spectrale et à une polarisation. Il est sensible à huit bandes spectrales différentes, aux deux polarisations linéaires complémentaires et même à la polarisation circulaire. En balayant une scène de ces deux yeux à facettes, le squille est donc capable de récolter seize teintes différentes et d'établir des cartes de contrastes de telle ou telle cible. L'architecture multivoie lui permet ensuite de traiter en parallèle les différentes teintes et, donc, de distinguer rapidement une proie d'un partenaire ou d'un prédateur. Cette rapidité dans la prise de décision fait du squille

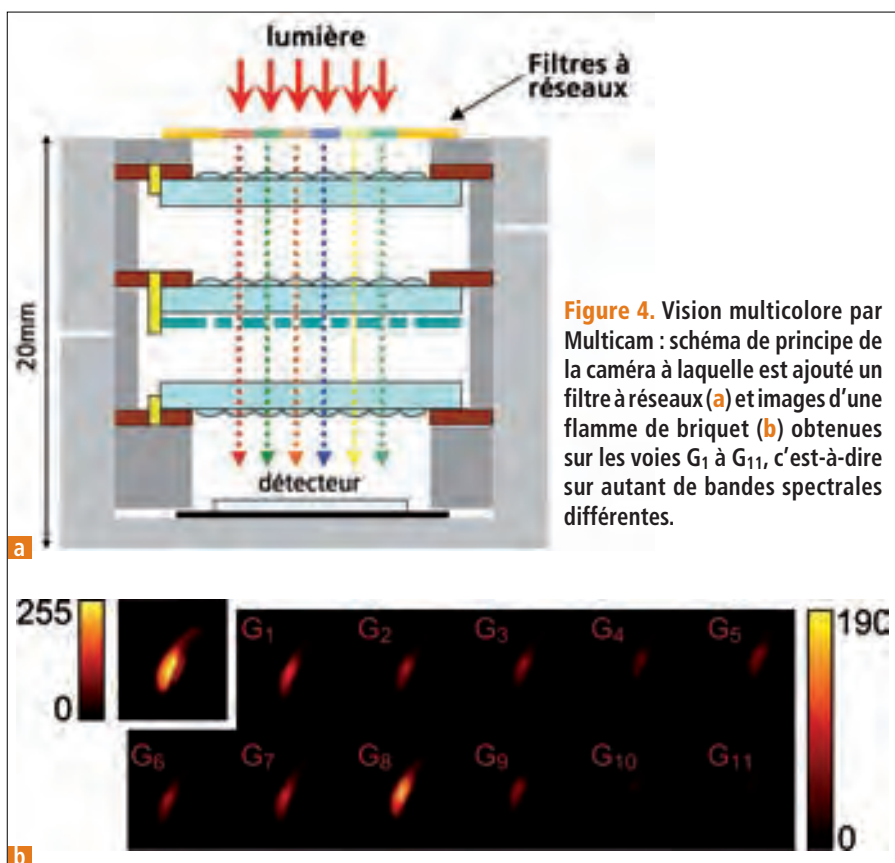
l'un des prédateurs les plus rapides du monde animal !

► Nous avons illustré cette architecture en plaçant à l'avant de la caméra Multicam une matrice de filtres plasmoniques [4] réalisés en collaboration avec le Laboratoire de photonique et de nanostructures (LPN), qui consistent en des barreaux dorés suspendus dans le vide. Selon la géométrie de ces filtres et l'orientation de leurs motifs, une bande

bonne résolution angulaire sur l'ensemble du champ d'observation. En effet, comme chacune des voies visualise un petit champ d'observation, l'amplitude des aberrations optiques est moins importante à corriger et peu d'optiques sont nécessaires pour obtenir une bonne qualité d'image. Ainsi, nous pouvons obtenir un système grand champ de très bonne qualité en combinant une multitude de voies élémentaires simples et bas coût plutôt que de réaliser un système monovoie équivalent plus complexe et encombrant.

► En plaçant un défecteur (ici une matrice de prismes) à l'avant de la caméra Multicam, les axes optiques de chacune des voies peuvent être déviés différemment les uns des autres pour augmenter le champ d'observation [3]. Il





spectrale de largeur ajustable est sélectionnée pour une polarisation donnée. Ainsi, des images multispectrales d'une flamme de briquet (figure 4) montrent, selon le filtre à travers lequel la flamme est observée, une intensité plus ou moins élevée, ce qui caractérise la signature spectrale de l'objet. Grâce à l'architecture multivoie, l'acquisition multispectrale de l'image se fait en temps réel.

Conclusion

Les systèmes multivoies constituent une alternative aux architectures mono-voies en proposant des fonctions optiques inaccessibles par ces derniers. Ils permettent en effet de réaliser des caméras très grand champ à partir de voies élémentaires simples, de traiter en parallèle des informations polarimétriques ou spectrales, de donner une vision 3D aux systèmes et enfin d'améliorer la capacité d'échantillonnage d'un détecteur matriciel. Les grands progrès dans le domaine des micro-technologies permettent d'espérer une

généralisation de ces systèmes, encore trop anecdotiques car ils sont en passe de constituer une véritable rupture technologique tant leurs potentiels de miniaturisation et d'acquisition d'informations jusque-là inaccessibles sont importants. L'Onera et le CEA exploitent actuellement la brique multivoie pour fusionner l'optique avec le détecteur et faire naître de cette intégration de véritables caméras infrarouge sur puce ! ■

Références

- [1] MF Land et D-E Nilsson, *Animal Eyes*, Oxford Animal Biology Series, Oxford University Press, 2002.
- [2] F de la Barrière, G Druart, N Guérineau, J Taboury, J Primot et J Deschamps, *Modulation transfer function measurement of a multichannel optical system*, Appl. Opt., Vol. 49, No. 15, 2010.
- [3] G Druart, N Guérineau, R Haïdar, S Thétas, J Taboury, S Rommeluère, J Primot, and M Fendler, *Demonstration of an infrared microcamera inspired by Xenos Peckii vision*, Appl. Opt., Vol. 48, No. 18, 2009.
- [4] R Haïdar, G Vincent, S Collin, N Bardou, N Guérineau, J Deschamps, J-L Pelouard, *Free-standing sub-wavelength metallic gratings for snapshot multispectral imaging*, Appl. Phys. Lett., Vol. 96, No. 22, 2010.



Kit mécanique Nanobench

Destiné aux composants optiques 12,7 mm pour des montages 3D ultra-compactes



Isolateur de Faraday 1210 nm

Différentes ouvertures
Transmission > 90%
Isolation > 30 dB

Série d'objectifs inspec.x-L

Pour caméra linéaire haute résolution:
Capteurs 12 k / 5 μ m



Venez nous rencontrer du 26 au 28 octobre.
Stand H20



Qioptiq Photonics France
Téléphone: +33 (0)4 72 52 04 20
Email: info@qioptiq.fr
www.qioptiq.fr

abc cross media