

Imagerie active : la maturité des systèmes ouvre de vastes perspectives

L'infrarouge thermique et l'intensification de lumière ont longtemps eu le monopole des techniques de vision de nuit. L'imagerie active, comme alternative à ces deux méthodes, a connu ces dernières années un développement considérable grâce aux progrès réalisés au niveau des sources laser et des intensificateurs de lumière. Outre ses capacités de vision de nuit, l'imagerie active permet d'améliorer la vision en conditions météorologiques dégradées, de reconstruire en 3D la zone visualisée ou d'étudier la nature des matériaux qui constituent une scène par leur analyse polarimétrique, ceci pour des portées pouvant atteindre plus de 10 kilomètres. Cet article se propose de faire l'état de l'art de ce domaine à mi-chemin entre recherche appliquée et technologie mature. Il s'attachera à montrer toutes les facettes qu'il reste à explorer dans ce domaine et mettra en lumière le potentiel de la méthode pour différentes applications. Ainsi, après avoir rappelé les fondements théoriques, nous décrirons différents systèmes, puis nous déclinons la technique de base dans ses variantes telle que l'imagerie active multispectrale, l'imagerie active polarimétrique et deux techniques de reconstruction de scène 3D.

>> **Frank CHRISTNACHER,**
David MONNIN, Martin LAURENZIS,
Yves LUTZ, Alexis MATWYSCHUK
 Institut franco-allemand de recherches
 de Saint-Louis (ISL)
frank.christnacher@isl.eu

Une technologie mature

L'imagerie active est identifiée par les experts en optronique comme l'une des capacités technologiques importantes à acquérir dans les années futures. En effet, les récents bouleversements géostratégiques ont montré qu'il était indispensable de maîtriser les techniques de vision de nuit dans les conflits actuels ou dans les concepts de sécurité globale. Comme toutes les techniques, l'imagerie active a des avantages et des inconvénients. Son inconvénient le plus souvent cité par les opérationnels est, par essence même, sa furtivité limitée. Mais il semblerait que les nouvelles potentialités offertes par la méthode fassent pencher la balance du côté de ses avantages. En effet, les possibilités d'améliorer la vision en conditions météorologiques dégradées (brouillard, pluie, neige, tempête de sable...), de traverser des obstacles diffusants (fumée, milieu turbide...), de reconstruire en 3D la zone visualisée ou

d'étudier la nature des matériaux qui constituent une scène par une analyse polarimétrique procurent des avantages indéniables par rapport aux autres techniques précédemment citées.

Le principe de l'imagerie active à crénelage temporel est connu depuis bien longtemps [1], mais l'avènement de sources laser à semi-conducteurs et d'intensificateurs de lumière performants a permis une augmentation spectaculaire des performances de ces systèmes, tout en permettant une intégration poussée. Depuis quelques années, l'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL) a décliné ses systèmes d'imagerie active dans différentes longueurs d'onde allant de l'ultra-violet (UV), en passant par le visible (VIS), le proche infrarouge (NIR, *Near InfraRed*, de 0,75 à 1,4 μm) jusqu'à l'infrarouge à ondes courtes (SWIR, *Short Wavelength InfraRed*, de 1,4 à 3 μm), la bande de 1,53 à 1,58 μm étant celle qui permet l'observation dans des conditions de sécurité oculaire. Les systèmes ont été miniaturisés et intégrés dans des plateformes de surveillance associant différents capteurs [2,3]. C'est précisément ce haut niveau de maturité technologique qui ouvre de vastes perspectives car les systèmes étant disponibles, la communauté scientifique peut maintenant s'affairer

à étudier de manière plus fine la nature des photons réémis par la scène et étendre les potentialités de la technique de base à l'imagerie active multi- ou hyperspectrale, à l'imagerie active polarimétrique et aux techniques de reconstruction 3D.

Principe de l'imagerie active

La technique de l'imagerie active consiste à associer au capteur d'imagerie sa propre source d'éclairage pour illuminer la scène au moment de l'observation. Généralement, la divergence de la source d'éclairage est adaptée au champ de vue du dispositif d'imagerie. Un caméscope doté de son illuminateur proche infrarouge peut donc être considéré comme un dispositif d'imagerie active. Néanmoins, les systèmes dont il est question ici s'en différencient fortement pour deux raisons. D'une part, l'avènement de capteurs d'imagerie à base d'intensificateurs de lumière a permis de disposer de récepteurs très sensibles. Couplés à des éclairages intenses, leur portée en vision de nuit peut atteindre jusqu'à 20 kilomètres. D'autre part, leur capacité à former une image avec une durée d'exposition très faible tout en étant déclenchables sur un signal externe permet, par une synchronisation judicieuse

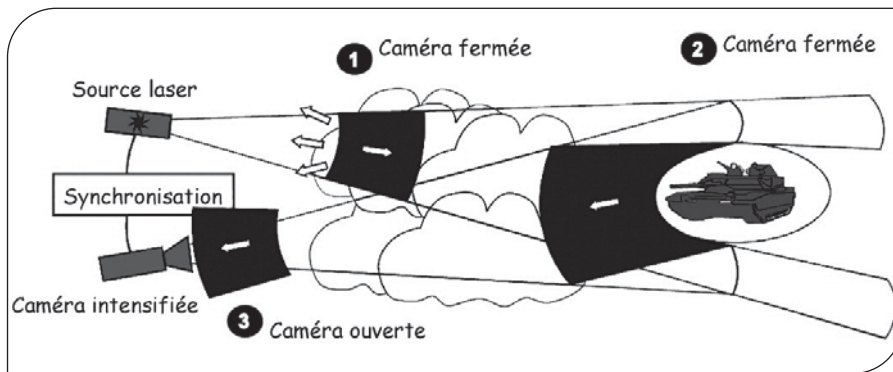


Figure 1. Principe de l'imagerie active par crénelage temporel.

entre un éclairage impulsif et la prise de vue, de réaliser le « crénelage temporel » (*range-gating*) ou la sélection d'une image correspondant à une tranche d'espace par le temps de vol. La figure 1 illustre le principe de cette méthode. Au lieu d'éclairer la scène de façon continue, on l'éclaire avec de très brèves impulsions lumineuses. La durée d'un de ces flashes de lumière est typiquement de l'ordre de quelques nanosecondes à quelques microsecondes. Pour illustrer ce propos, nous parlerons d'impulsions lumineuses de 100 ns de durée. À la

vitesse de la lumière, une impulsion d'une durée de 100 ns correspond à une tranche de lumière de 30 m de longueur. Nous avons donc produit une tranche d'espace éclairé de 30 m d'épaisseur qui se dirige vers la scène à visualiser à la vitesse de la lumière (figure 1-1). Cette tranche de lumière atteint un objet présent dans la scène et va, en partie, se réfléchir sur cet objet (figure 1-2), la quantité de lumière rétrofléchée dépendant du coefficient de réflexion de l'objet à la longueur d'onde d'éclairage. Cette portion de lumière rétrofléchée revient

vers le système d'éclairage. Pendant tout ce temps, la caméra reste en position fermée. Elle n'est donc pas éblouie par la lumière rétrofléchée par les particules en suspension dans l'air. C'est au moment où l'onde lumineuse revient de la tranche d'espace à visualiser que l'on ouvre la caméra (figure 1-3), généralement pendant une durée équivalente à celle de l'impulsion laser. La caméra est ensuite refermée pour ne pas voir l'onde, qui continue à se propager au-delà de la tranche d'espace à visualiser. On comprend maintenant que la durée de l'impulsion laser et/ou du temps de pose de la caméra déterminent l'épaisseur de la tranche d'espace visualisée au niveau de la scène. Le délai entre le moment où l'on produit l'impulsion laser et le moment où on réalise l'ouverture de la caméra déterminera, quant à lui, la distance à laquelle on regarde. La figure 2 montre quelques exemples d'images expérimentales. La figure 2b illustre le cas d'une longue durée d'intégration par la caméra ; tous les objets présents dans la scène à >>>

LASER CONSEIL

LE N°1 DE LA FORMATION " SÉCURITÉ LASER " EN FRANCE



SÉCURITÉ LASER



vous propose les formations au risque Laser :

- Niveau 1**
Opérateur, manipulateur
- Niveau 2**
Personnel de maintenance
- Niveau 3**
Responsable Sécurité Laser



Ces formations sont rendues obligatoires par l'application de la Directive européenne n°2006/25/CE du 6 avril 2006 et son décret d'application n°2010-750 du 2 juillet 2010.

Conseil | Assistance Technique | Audit | Formation | Marquage CE | Protecteurs

Contactez-nous pour de plus amples informations, LASER CONSEIL vous propose des formations adaptées (intra ou inter), une intervention rapide sur tout le territoire national.

M. Alain LE FLOC'H
LASER CONSEIL
e mail: info@laserconseil.fr
126, rue de l'aérodrome - 22300 Lannion
Tél. 02 96 48 79 96 - Fax 02 96 48 79 97

LASER CONSEIL
Sécurité Laser
www.laserconseil.fr



Figure 2. Scène à 1000 m : (a) image visible ; (b) longue durée d'intégration de 500 ns ; (c,d,e) courte durée d'intégration avec différents délais.

différentes distances sont visualisés. Les figures 2c, 2d et 2e présentent trois images de la même scène où la durée d'exposition a été ramenée à 150 ns, soit une tranche d'espace éclairé d'environ 24 m de profondeur (dans ce cas, le laser d'illumination émettait des pulses de 10 ns). La variation du délai entre l'impulsion laser et la prise de vue permet de scanner la scène en profondeur et d'isoler différents objets par rapport à leur arrière-plan. Tous les objets hors de la tranche d'espace sélectionnée par la caméra sont donc invisibles. De la même façon, lorsque des particules sont présentes en suspension dans l'atmosphère, la qualité de l'image est préservée puisque les rétroreflexions ne sont pas intégrées par le capteur (figure 3). L'imagerie active à crénelage temporel permet donc de maintenir une possibilité de voir des objets lorsque les conditions météorologiques sont dégradées (fumée, brouillard, pluie, neige...).

Les imageurs actifs de l'ISL

Imageurs actifs dans la bande NIR

C'est dans cette bande de longueur d'onde que les systèmes d'imagerie active sont les plus nombreux et les plus matures. La disponibilité des diodes laser de forte puissance, principalement aux



Figure 3. Vision à travers la fumée à une distance de 1 km : (a) image visible ; (b) imageur actif à sécurité oculaire ($\lambda = 1,574 \mu\text{m}$).

longueurs d'onde de 808 et 860 nm, ainsi que d'intensificateurs de lumière performants, a permis l'arrivée sur le marché de systèmes compacts, portables et pouvant fonctionner de manière autonome sur batteries. La figure 4 montre deux des systèmes d'imagerie active à crénelage temporel développés par l'ISL et fonctionnant à la longueur d'onde de



Figure 4. Systèmes d'imagerie active à crénelage temporel dans le proche infrarouge (NIR) à 808 nm.

808 nm. Le système de gauche est le système à longue portée possédant un champ de vue de $1^\circ \times 0,8^\circ$. Il permet de visualiser des objets à plus de 10 km de distance et est particulièrement adapté pour des missions de surveillance et d'identification longue portée ou pour la sécurité aux frontières maritimes et terrestres (figure 5). Le système de droite atteint 3 km de portée et possède deux champs de vue. Le premier de $6,1^\circ \times 4,6^\circ$ est adapté à la surveillance de zone ou de site sensible, le second de $2,6^\circ \times 1,6^\circ$ est plutôt adapté à la reconnaissance ou à l'identification moyenne portée. Grâce à une interface homme-machine (GUI, *Graphical User Interface*) très intuitive et conviviale, ces systèmes peuvent être utilisés par des personnels non



Figure 5. Imagerie active à 808 nm à différentes distances et pour différents scénari : (a) surveillance de frontière (4 km) ; (b) scène de 2 km de profondeur ; (c) vision à travers une vitre (300 m).


spécialistes du domaine. Le second système a été vendu à la Section technique de l'armée de terre (STAT) qui l'expérimente en conditions opérationnelles. En effet, l'évaluation technico-opérationnelle de cette technologie permet de préciser les performances de l'imagerie active par rapport aux autres techniques d'imagerie. Ces données permettent alors aux états-majors d'établir la doctrine d'emploi de tels systèmes, en complément ou en remplacement des technologies actuelles.

La figure 5 montre quelques exemples d'images réalisées grâce à ces deux systèmes. Du point de vue technologique, la réalisation de ces systèmes s'appuie en particulier sur un savoir-faire de l'ISL en termes de collimation des diodes laser, qui est protégé par deux brevets. Le procédé consiste à homogénéiser le faisceau de lumière tout en égalisant les divergences selon les deux axes perpendiculaires. Une lentille de collimation sert ensuite à projeter le faisceau de lumière sur la cible suivant la divergence souhaitée. Concernant le capteur d'image, on utilise le plus souvent des caméras intensifiées numériques obtenues par couplage d'un intensificateur de lumière et d'une caméra CCD numérique.

Imageurs actifs SWIR à sécurité oculaire

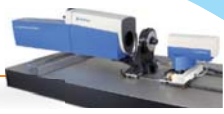
De par son potentiel de vision à travers les milieux diffusants, l'imagerie active intéresse de plus en plus le monde civil pour des opérations de sécurité ou de maintien de l'ordre. Dans ce contexte, la question de la sécurité oculaire fait inévitablement débat et le meilleur moyen de l'éviter est de travailler dans la bande dite à sécurité oculaire autour de $1,5 \mu\text{m}$. Malgré un effort conséquent ces dernières années pour fabriquer en Europe un capteur SWIR intensifié, les États-Unis restent aujourd'hui en situation de monopole sur ce type de capteurs. L'ISL a réalisé récemment un système d'imagerie active à crénelage temporel à sécurité oculaire, comme le montre la figure 6.

Ce système est composé d'un laser émettant des impulsions de 65 mJ à la >>>




UN UNIVERS DE PRÉCISION

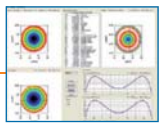
- Solutions complètes pour le test des systèmes optiques
- Interféromètres, goniomètres, collimateurs, autocollimateurs, bancs de tests, bancs de FTM...
- Mesure de focale, centrage, front d'onde, FTM, topographie...
- Applications en R & D et production.
- Développements spéciaux.



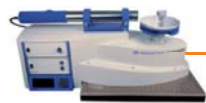
Banc de FTM
UV-Vis-IR




Interféromètre
dynamique
UV-Vis-IR




Logiciel
d'analyse




Goniomètre
absolu



Contrôle en
production



Tests en
R & D



TRIOPTICS France
Tél: 04 72 44 02 03
Fax: 04 72 44 05 06
www.trioptics.fr

septembre/octobre 2011 • 55 • Photoniques



Figure 6. Système d'imagerie active moyenne portée à sécurité oculaire.



Figure 7. Imagerie active à $1,5 \mu\text{m}$ en environnement maritime. L'image (a) dans le visible (1 km) montre la saturation d'un capteur classique due au coucher de soleil dans l'axe de la prise de vue. Les images (b) et (c) montrant un bateau respectivement avec et sans l'arrière-plan, mettent en évidence la capacité du système à sélectionner la tranche d'espace à visualiser.

cadence vidéo et à la longueur d'onde de $1,574 \mu\text{m}$. Homogénéisé et collimaté, le faisceau d'éclairage possède une divergence de $1,5^\circ \times 1,0^\circ$ et s'inscrit parfaitement dans la zone visualisée par le capteur. La portée du système est de 3 km et grâce à des impulsions ultracourtes de moins de 10 ns ; il fonctionne de jour comme de nuit. La figure 7 montre quelques résultats obtenus par ce système à une distance de 1 km en plein jour. On met en évidence ici la faculté du crénelage temporel à isoler un objet de son arrière-plan grâce à l'utilisation d'impulsions laser et de durées d'intégration très courtes. De même, les saturations dues aux reflets sur l'eau ne sont pas intégrées par le capteur. On note enfin l'absence totale de *speckle* (image présentant un aspect granuleux due à la cohérence de la source d'éclairage), malgré l'utilisation d'un laser solide avec une très forte cohérence. Ce fait est dû à notre procédé original de collimation de la lumière laser par lequel nous nous efforçons de détruire la cohérence spatiale de la source. Le challenge actuel est de pouvoir intégrer dans ces systèmes à sécurité oculaire des capteurs dits « *ITAR-free* », c'est-à-dire qui ne dépendent pas des lois américaines *ITAR (International Traffic in Arms Regulations)*. Plusieurs pistes très prometteuses sont en cours d'études.

Imageurs actifs dans le visible

Nous avons mis en évidence que l'imagerie active à crénelage temporel peut apporter un gain de visibilité dans les milieux turbides. Cette turbidité peut être particulièrement importante sous l'eau, et les systèmes destinés à la vision

sous-marine doivent fonctionner à des longueurs d'onde permettant une bonne propagation dans ce milieu particulier. La figure 8 montre que le spectre visible compris entre 450 et 600 nm est le plus adapté à la propagation sous l'eau, la longueur d'onde du laser YAG à 532 nm étant un bon compromis pour une propagation maximale en eau claire aussi bien qu'en eau trouble.

La figure 9 montre le prototype d'imagerie active réalisé pour la vision sous-marine et un résultat expérimental.

Pour assurer des performances maximales, le système fonctionne avec de très courtes impulsions de lumière, de l'ordre de la nanoseconde, permettant

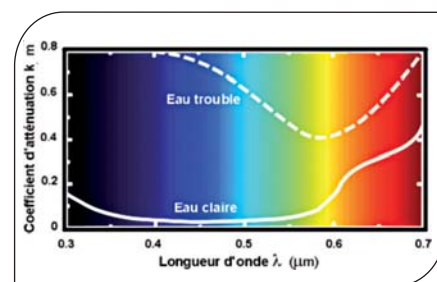


Figure 8. Propagation des longueurs d'onde sous l'eau.

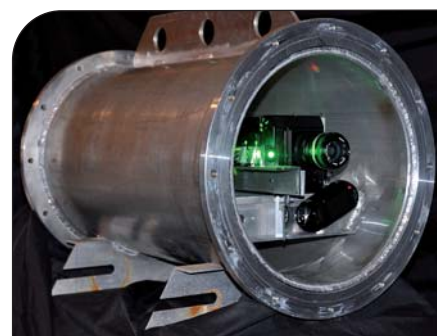


Figure 9. Imageur actif pour la vision sous-marine dans son enveloppe étanche et visualisation d'une scène entre 12 et 18 m de distance dans une eau possédant une visibilité inférieure à 10 m.

une délimitation très nette de la zone visualisée en profondeur.

Dans tous les cas, les contraintes physiques dues à l'absorption et à la diffusion de la lumière dans l'eau limitent l'utilisation de l'imagerie active sous-marine à des portées maximales de 100 à 150 m (eau pure et limpide). En eaux très turbides, où la visibilité naturelle n'est que de quelques mètres, voire inférieure au mètre, des études systématiques ont montré que le recours à l'imagerie active permettait de gagner en moyenne un facteur 3 en distance de visibilité. Si l'on prend le cas d'un plongeur dans une eau où la visibilité n'est que d'un mètre (absorption égale à $4m^{-1}$), le recours à l'imagerie active à crénelage temporel permettra de porter cette distance de visibilité à environ 3 m. Il est à noter ici que le recours à l'imagerie active polarimétrique permet une amélioration significative de la qualité d'image en vision sous-marine. Ce point est actuellement à l'étude à l'ISL.

Imagerie active polarimétrique

Généralement, le procédé d'homogénéisation et de collimation de la lumière ne détruit pas la polarisation du faisceau d'éclairage. On peut donc, par une simple analyse polarimétrique de la lumière réfléchie par la scène, procéder au calcul du degré de polarisation pour chaque pixel de l'image. La figure 10 montre un exemple d'imagerie active polarimétrique à une longueur d'onde de 808 nm et à une distance de 300 m. Globalement, on voit une nette différence entre l'image d'intensité et les images du degré de polarisation circulaire

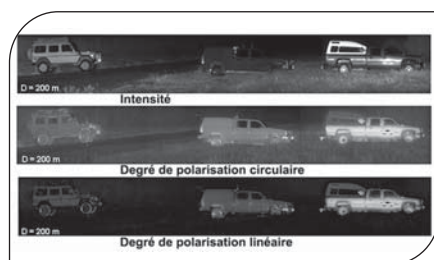


Figure 10. Imagerie active polarimétrique, comparaison des images d'intensité, du degré de polarisation circulaire et du degré de polarisation linéaire.



Figure 11. Détection d'optique pointée à une distance de 2,5 km (système à 800 nm).

ou linéaire, dans le sens où les objets manufacturés se différencient du fond naturel dans ces deux dernières. De même, le véhicule du centre et dont la réflectance spectrale à 808 nm est très faible, apparaît clairement en imagerie polarimétrique.

Détection d'optique pointée

La détection d'une optique pointée est l'une des capacités intrinsèques à la technique d'imagerie active. Comme le système possède sa propre source d'éclairage, tout élément rétro-réfléchissant présent dans la scène sera clairement visible par la saturation du capteur que son reflet intense et directif va engendrer. Cet effet « œil de chat » permet de détecter des optiques pointées à plusieurs kilomètres. La figure 11 illustre la détection d'une optique pointée à une distance de 2,5 km à la longueur d'onde de 800 nm. L'ISL a entrepris la caractérisation systématique de la signature optique des cinquante lunettes de snipers les plus utilisées sur le théâtre d'opération. Cette base de données nous a permis de mettre au point des méthodes de différenciation des optiques pointées par rapport à des rétro-réfléchisseurs se trouvant dans le champ visualisé, ce qui élimine un >>>

acal technology **BFI OPTILAS**

Nouveaux Systèmes de Caractérisation de LEDs

Thermique
Optique
Electrique

labsphere
SPECTRALIMETRY

Compatibles avec une Large Gamme de Spectromètres

CDS600/610
CDS1100/2100
CDS5400
CDS9800

Caractérisation de luminaires
LEDs, Lampes,
Eclairage Architectural,
Eclairage Lasers
Panneaux Avioniques
Imagerie Médicale
Automobile,
Semiconducteurs
Photovoltaïque

Présentés sur OPTO-PRI 2011
stand M36

Pour plus d'informations
Tel +33 (0)1 60 79 59 38 - photonique.fr@bfiophtilas.com

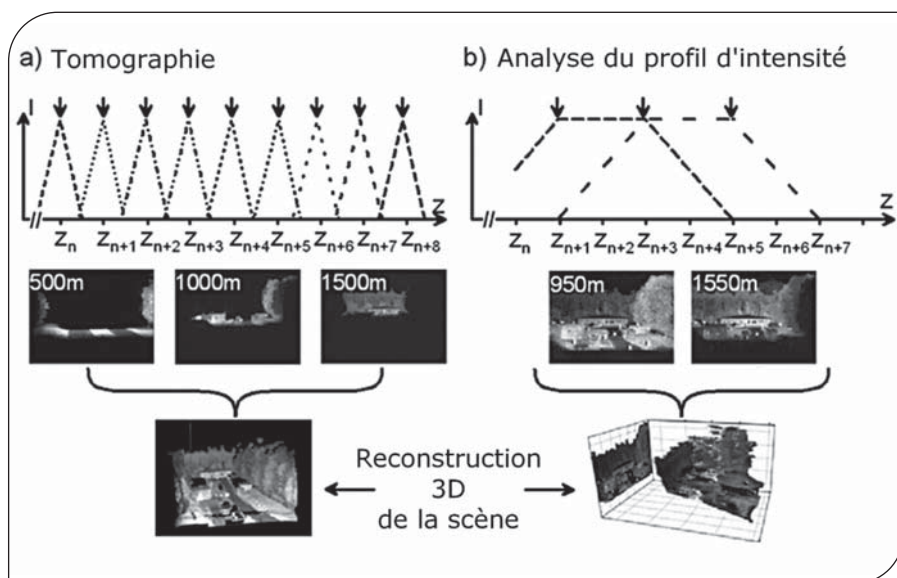


Figure 12. Deux méthodes de digitalisation 3D de la scène, la première tomographique, la seconde ne nécessitant que deux impulsions de lumière.

grand nombre de fausses alertes. Ces travaux se poursuivent par l'étude de l'utilisation de LED comme source de lumière dans les détecteurs d'optiques pointées.

Reconstruction 3D

Deux méthodes originales de restitution de la scène en 3D ont été mises au point : la première est basée sur l'acquisition d'une séquence d'images tomographiques ; la seconde utilise l'analyse du profil d'intensité dans la tranche de lumière (figure 12). Dans les deux cas, on peut digitaliser en 3D des objets kilométriques comme des objets centimétriques en fonction de la durée d'impulsion utilisée.

3D par tomographie

C'est la méthode la plus longue, car il faut parcourir l'ensemble de la profondeur de la scène avec une tranche de lumière plus ou moins fine [4]. Néanmoins, comme l'acquisition de la séquence d'images tomographiques est complètement automatique, cette opération prend de quelques secondes à quelques dizaines de secondes selon la profondeur de la scène et la résolution souhaitée. Une série de traitements appropriés, organisés en trois grandes étapes, permettent de construire un modèle 3D élémentaire. La première étape consiste à

effectuer un filtrage temporel du bruit à partir de plusieurs images tomographiques prises à la même distance d'observation. Puis une opération de segmentation permet l'élimination des parties non éclairées et des sources de lumière parasite. Enfin, l'information pertinente est positionnée dans un modèle de scène 3D en respectant les distances d'observation. Les résultats obtenus par cette méthode sont illustrés figure 13, le positionnement du curseur permettant une télémétrie de chacun des pixels de l'image.

La seule contrainte pour permettre le temps réel est le recours à une puissance de calcul conséquente et donc l'emploi de processeurs graphiques spécialisés (GPU) qui sont toutefois relativement courants puisqu'ils équipent la plupart des cartes graphiques récentes.

3D à deux images

C'est dans un souci de préservation de la furtivité du système que cette méthode a été développée. Plutôt que de balayer la scène avec une tranche de lumière très fine, on effectue deux prises de vue de la scène, légèrement décalées en profondeur grâce à deux impulsions de lumière.

Comme on sait que la répartition d'intensité dans la tranche de lumière représente la convolution temporelle entre le



Figure 13. Scènes reconstruites en 3D à partir d'images tomographiques : (a) scène de 1,5 km de profondeur (500 à 2000 m) ; (b) scène de 50 cm de profondeur à 10 m.

pulse de lumière et l'ouverture de la caméra, il existe une relation simple entre le niveau de gris et la distance de chaque pixel de l'image [5,6]. La figure 14 montre quelques résultats obtenus avec cette méthode.

À partir de la z-map et de la texture, qui est l'image de la scène en niveaux de gris ou en couleur, on peut reconstruire la scène 3D en niveaux de gris ou en couleur selon la texture que l'on applique sur le modèle 3D. Le système d'imagerie active actuellement en cours de développement intégrera la fonctionnalité de digitalisation 3D de la scène selon le principe à deux impulsions avec le plaquage de la texture couleur de la scène si on travaille en vision de jour.

Vers de nouveaux systèmes opérationnels

L'imagerie active, de par son potentiel dans le domaine de l'observation d'une scène à grande distance, dans des conditions météorologiques dégradées et en l'absence totale de lumière, donnera à son utilisateur une supériorité technologique évidente. L'ISL a développé dans

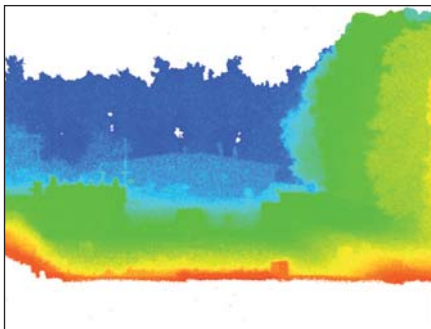


Figure 14. Scène 3D à partir de deux images : (a) une des deux images utilisées ; (b) la z-map de la scène ; (c) la représentation en immersion de la scène.

ce domaine un savoir-faire et une compétence qui lui permettent aujourd'hui de concevoir et de réaliser des systèmes robustes, intégrés et performants, utilisables dans différents cas d'observations réputés être des environnements difficiles, comme les projectiles, les missiles ou les drones, mais aussi intégrables sur des plateformes terrestres comme les blindés ou les véhicules légers.

En collaboration avec les forces de police française et allemande, l'effort est aujourd'hui mis sur les systèmes à sécurité oculaire pour leur utilisation dans le domaine de la sécurité intérieure. Les techniques de reconstruction 3D constituent également une part importante de notre activité puisqu'elles offrent aux militaires une réelle possibilité

d'immersion dans le théâtre opérationnel et donc une perception très pointue du champ de bataille. Ce type de fonctionnalité fera sans aucun doute considérablement évoluer les scénarios d'engagement des troupes lors des conflits futurs. ■

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier E. Bacher, N. Metzger, J.-M. Poyet, J.-P. Runser, S. Schertzer, membres du groupe OVE, et E. Bieber, G. Schmitt, membres du groupe OSV, pour leur implication dans les travaux décrits dans cet article.

Références


- [1] L. F. Gillespie. *Apparent illumination as a function of range in gated, laser night-viewing systems*. JOSA 1966; 56: 883-887.
- [2] Y. Lutz, F. Christnacher. *Laser diode illuminator for night vision on board of a 155 mm artillery shell*. *Aerosense and defence sensing*. April 21-25, 2003, Orlando/FL, USA.
- [3] F. Christnacher, Y. Lutz, D. Monnin. *Systèmes d'imagerie active portables et embarquables dans différents vecteurs d'observation*. OPTRO 2005, 9-12 mai 2005, Paris, France.
- [4] D. Monnin, A. Schneider, F. Christnacher, Y. Lutz. *A 3d outdoor scene scanner based on a night-vision range-gated active imaging system*. Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission. 3D PVT 2006, Chapel Hill, NC, US, June 14-16, 2006, Proc. IEEE 3, 938-945.
- [5] M. Laurenzis, F. Christnacher, D. Monnin. *Long-range three-dimensional active imaging with super-resolution depth mapping*. Optics Letters 2007; 32(21): 3146-3148.
- [6] M. Laurenzis, F. Christnacher, N. Metzger, E. Bacher, I. Zielenski. *3d range-gated imaging at infrared wavelengths with super-resolution depth mapping*. Proc. SPIE 2009; 7298: 729833.


Participez à la rédaction de Photoniques !

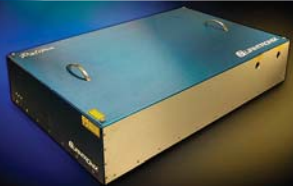
Si vous souhaitez partager avec les lecteurs de Photoniques vos résultats de recherche, envoyez-nous vos propositions d'articles ! Une vingtaine de lignes présentant l'objectif visé et les avancées réalisées permettront au comité de rédaction d'émettre un avis. Nous vous proposerons alors, le cas échéant, un planning de parution.

Contact : Françoise Métivier
Tél. : + 33 6 30 98 48 08


francoise.metivier@edpsciences.org



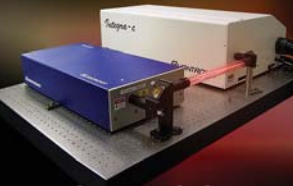





Ultrafast Systems



High Energy YAG



kHz Solid State



Tunable Systems


**Innovative Laser Solutions
for Science and Industry**

Ultrafast Systems
*femtosecond oscillators, terawatt systems
179 nm - 22 μm tunable systems*

High Energy YAG Systems
to 8 Joules

Kilohertz Solid State Systems
solid state lasers for industrial applications

Nanosecond Tunable Systems
for Science and Research, 205 nm-2550 nm



22 Avenue de la Baltique
91 140 Villebon sur Yvette
Tel: 01 69 74 13 80
Email: ETF@excel-france.com

Serving France for over 25 years