
Principe d'imagerie active à crénelage temporel multi-longueurs d'onde pour l'imagerie 3D

Alexis Matwyschuk

*Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis
5, rue du Gal Cassagnou, BP70034, 68301 Saint-Louis Cedex, France
alexis.matwyschuk@isl.eu*

RÉSUMÉ. Les tomographies réalisées avec des systèmes d'imagerie active mono-longueur d'onde utilisent l'enregistrement de plusieurs images pour restaurer la scène en 3D. Ainsi pour mettre en évidence la profondeur dans la scène, chaque image enregistrée est assimilée à une couleur différente. De ce fait, la restauration 3D dépend de la cadence vidéo de la caméra. Par contre dans le principe d'imagerie active à crénelage temporel multi-longueurs d'onde, chaque impulsion lumineuse émise avec une longueur d'onde différente correspond à une zone visualisée à une distance différente dans la scène. Ainsi chacune de ces zones visualisées est identifiée par une longueur d'onde différente. Par conséquent il est possible de restaurer la scène 3D directement sur une seule image en couleur au moment de l'enregistrement, indépendamment de la fréquence vidéo. De plus grâce au crénelage temporel, même s'il y a un milieu diffusant gênant devant la scène, la restauration peut être réalisée. Le modèle théorique et les différents résultats expérimentaux ont validé ce nouveau principe.

ABSTRACT. The tomography executed with mono-wavelength active imaging systems uses the recording of several images to restore the 3D scene. Thus, in order to show the depth in the scene, each recorded image is identified by a different color. Therefore, the 3D restoration depends on the video frame rate of the camera. On the other hand with the multiple-wavelengths range-gated active imaging principle, each emitted light pulse with a different wavelength corresponds to a visualized zone with a different distance in the scene. So each of these visualized zones is identified by a different wavelength. Consequently, it is possible to restore the 3D scene directly in a single color image at the moment of recording, Independently of the video frequency. Furthermore thanks to the range-gating, even if there is a scattering embarrassing environment in front of the scene, the restoration can be performed. The theoretical model and the different experimental results validated this new principle.

MOTS-CLÉS : imagerie active , crénelage temporel , imagerie 3D , multilongueur d'onde , faisceau laser pulsé.

KEYWORDS: active imaging, range-gating, 3D imaging, multiple-wavelength, laser pulse.

DOI:10.3166/I2M.16.1-4.255-260 © 2017 Lavoisier

1. Introduction

L'imagerie active est une technique directe de visualisation utilisant une matrice de capteurs d'image et sa propre source d'illumination. Contrairement à d'autres méthodes comme le balayage laser, l'imagerie active affiche directement une image en deux dimensions. La synchronisation entre l'illumination et l'enregistrement correspondant au crénelage temporel permet d'améliorer la visibilité à travers des milieux atmosphériques diffusants. Dans certaines applications, l'imagerie active est utilisée pour scanner une scène en profondeur et la restituer en 3D (Albota *et al.*, 2002). Chaque tranche enregistrée du scannage est sélectionnée en fonction du retard à l'ouverture de la caméra et visualisée en fonction de la largeur de l'impulsion lumineuse et le temps d'ouverture de la caméra (Bonnier et Larochelle, 1996). Elle correspond à une image indépendante qui visualise la zone se trouvant à une distance donnée (Andersen *et al.*, 2006). L'ensemble de ces images indépendantes permet de reconstituer la 3D souvent définie par différentes couleurs dont chacune représente une profondeur différente de la scène (Busck et Heiselberg, 2004 ; Andersen *et al.*, 2005). L'accroissement du nombre de tranches enregistrées, dépendantes de la cadence vidéo, augmente le temps de restitution en 3D. Par conséquent les phénomènes enregistrés sont limités par la fréquence vidéo. Par contre en utilisant une source multilongueur d'onde, il est possible de se défaire de cette limitation. Cette nouvelle méthode a l'avantage de permettre au même moment une subdivision de la zone visualisée globale de la scène en différentes tranches représentées par des longueurs d'onde différentes afin de discriminer les distances relatives dans cette zone globale.

2. Principe de l'imagerie active à crénelage temporel multilongueur d'onde

Dans ce nouveau principe, chaque tranche de la scène est représentée par une longueur d'onde. Contrairement à d'autres méthodes de balayage de longueurs d'onde pour de la restitution 3D (Kim, 2000), la scène est enregistrée sur une seule image divisée en zones RVB (Rouge, Vert, Bleu) permettant de différencier les longueurs d'onde utilisées directement sur une image couleur. Deux modes sont envisagés : le mode flash et le mode accumulation (figure 1).

Dans le mode flash, chaque impulsion lumineuse émise avec une longueur d'onde différente correspond à une zone visualisée à une distance différente dans la scène. L'ouverture de la caméra est réalisée une seule fois avec un shutter pour une série complète d'impulsions lumineuses avec toutes les longueurs d'onde utilisées. Ainsi la restauration peut être réalisée en temps réel par rapport à la cadence d'enregistrement de la caméra vidéo. Dans certains cas, les contraintes énergétiques pour restaurer certaines scènes en 3D peuvent imposer une modification dans le mode d'enregistrement en passant du mode flash au mode accumulation. Dans ce mode, le cycle comprenant l'émission d'une série d'impulsions lumineuses avec toutes les longueurs d'onde utilisées suivie d'une ouverture du shutter de la caméra est répété plusieurs fois pour une image donnée enregistrée avec la caméra

intensifiée. Chaque longueur d'onde correspond à une tranche visualisée à une distance différente dans la scène. L'accumulation permet ainsi d'augmenter l'éclairage de chaque tranche visualisée. On peut observer sur la figure 1 dans le mode accumulation l'apparition d'un artefact visuel. Ce phénomène a été démontré et analysé dans (Matwyschuk, 2014). Les artefacts apparaissent quand la fréquence de l'ouverture du shutter de la caméra et la fréquence des impulsions laser sont élevées. Le nombre d'artefacts visuels dépend du nombre d'ouverture moins un. Si les plus éloignés peuvent être négligés, le premier artefact visuel par contre peut créer une confusion dans l'image restituée. D'où la nécessité d'en tenir compte dans certaines applications.

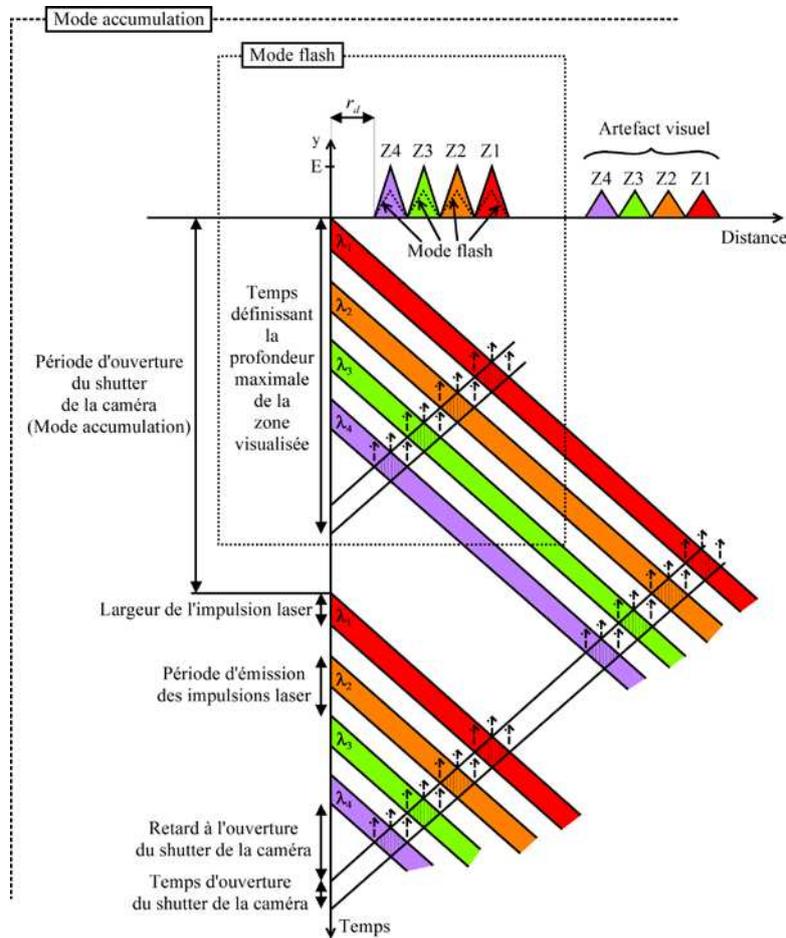


Figure 1. Méthode graphique de visualisation du résultat de la méthode d'imagerie active à crénelage temporel multilongueur d'onde en mode flash et en mode accumulation avec 4 longueurs d'onde différentes pour représenter la troisième dimension de la scène

3. Résultats

A partir d'un modèle analytique et d'une approche graphique, nous avons démontré théoriquement la faisabilité de cette nouvelle méthode de restitution 3D suivant les deux modes. Les essais expérimentaux ont été réalisés avec un système d'imagerie active à plusieurs longueurs d'onde d'illumination. Ces longueurs d'onde ont été obtenues grâce au principe de l'effet Raman dans une fibre optique à l'entrée de laquelle un faisceau laser pulsé provenant d'un laser solide pompé par diode a été injecté (Champert *et al.*, 2000). Chaque faisceau avec une longueur d'onde différente a été retardé avec un délai approprié. Concernant la partie réception, pour mettre en évidence les différentes longueurs d'onde visualisées dans la scène, l'image a été multiplexée optiquement en quatre voies dont chacune a été filtrée avec une composante RVB (1xR, 2xV, 1xB). La caméra intensifiée déclenchable étant monochrome, l'information couleur a été donnée par les trames RVB des 4 quarts de l'image d'entrée. Les résultats des essais expérimentaux avec ce montage optique (figure 2) ont confirmé le principe théorique pour restaurer directement la 3D d'une scène sur une image couleur indépendamment de la fréquence vidéo (Matwyschuk, 2016).

Dans le cadre des essais en mode accumulation, nous avons évalué le crénelage temporel de ce nouveau principe. Pour cela, une fenêtre amovible a été intercalée entre l'imageur et la scène située à 38 m (figure 2). En imagerie active sans crénelage temporel, la lumière réfléchie par la vitre de la fenêtre a perturbé l'image enregistrée (figure 3). En revanche l'utilisation du crénelage temporel a permis de visualiser l'espace derrière la vitre en ajustant le retard à l'ouverture de la caméra par rapport à la distance de la scène.

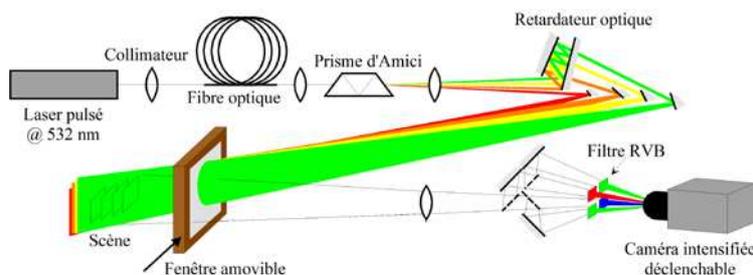
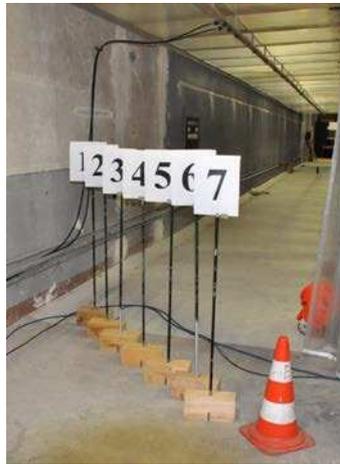


Figure 2. Système d'imagerie active à crénelage temporel multilongueur d'onde

Les images obtenues avec le système d'imagerie active à plusieurs longueurs d'onde d'illumination, sans et avec la fenêtre amovible, ont présenté une légère différence entre elles au niveau de la netteté mais aucune perturbation due à la lumière réfléchie par la vitre n'est apparue (figure 4). De plus, malgré l'insertion de la fenêtre, la couleur de chaque position est restée identique. Par conséquent ces résultats ont montré que cette nouvelle méthode pouvait parfaitement restaurer la 3D d'une scène située derrière une vitre ou un milieu diffusant.



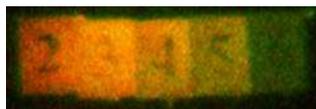
(a)



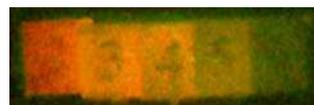
(b)

(c)

Figure 3. Scène pour tester la méthode d'imagerie active à crénelage temporel multilongueur d'onde en mode accumulation ; (a) objets observés, scène (b) sans la fenêtre amovible (c) avec la fenêtre amovible



(a)



(b)

Figure 4. Restitution expérimentale de la 3D d'une scène avec la méthode d'imagerie active à crénelage temporel multilongueur d'onde en mode accumulation ; (a) sans la fenêtre amovible (b) avec la fenêtre amovible

4. Conclusion et perspectives

Le principe de l'imagerie active à crénelage temporel multilongueur d'onde étant validé en mode flash (Matwyschuk, 2016) et en mode accumulation (Matwyschuk,

2017), d'autres utilisations peuvent être envisagées en introduisant des paramètres comme le temps pour rajouter une quatrième dimension directement sur l'image. Par rapport au secteur industriel, en plus de la restitution 3D l'intérêt est d'être indépendant de la cadence vidéo rendant ainsi possible l'enregistrement de certains phénomènes rapides. Du fait que le principe est associé au crénelage temporel, une scène derrière un milieu diffusant gênant (exemple : écran de fumée) peut être parfaitement observée. L'ensemble de ces avantages pourrait intéresser de nombreux domaines qui se servent des trois dimensions de l'espace pour étudier des phénomènes physiques comme la vélocimétrie laser par images de particules (PIV). En effet la cartographie 3D des particules permettra de remonter au déplacement du fluide à un instant donné non plus par rapport à un plan mais bien par rapport à l'espace. Si à ce niveau de la méthode d'imagerie active multilongueur d'onde, les positions seront données image par image, l'introduction du paramètre « temps » dans le futur devrait permettre de mesurer le déplacement, la vitesse et l'accélération des différentes particules visualisées dans chaque image.

Bibliographie

- Albota M. A., Heinrichs R. M., Kocher D. G., Fouche D. G., Player B. E., O'Brien M. E., Aull B. F., Zayhowski J. J., Mooney J., Willard B. C., Carlson R. R. (2002). Three-dimensional imaging laser radar with a photon-counting avalanche photodiode array and microchip laser; *Applied Optics*, vol. 41, n° 36, p. 7671-7678
- Andersen J. F., Busck J., Heiselberg H. (2005). Long distance high accuracy 3-D laser radar and person identification. *Laser Radar Technology and Applications X*, Proc. of SPIE, Orlando, Florida, USA.
- Andersen J. F., Busck J., Heiselberg H. (2006). Pulsed Raman fiber laser and multispectral imaging in three dimensions. *Applied Optics*, vol. 45, n° 24, p. 6198-6204
- Bonnier D., Laroche V. (1996). A range-gated active imaging system for search and rescue, and surveillance operations. *Proceeding SPIE Infrared Technology and Applications XXII*, Proc. SPIE, Orlando, USA.
- Busck J., Heiselberg H. (2004). Gated Viewing and High-Accuracy Three-dimensional Laser Radar. *Applied Optics*, vol. 43, n° 24, p. 4705-4710
- Champert P. A., Popov S. V. and Taylor J. R. (2000). Tunable, broad visible range, fibre-based Raman source. *Electronics Letters*, vol. 36, n° 24, p. 2003-2004
- Kim M.-K. (2000). Tomographic three-dimensional imaging of a biological specimen using wavelength-scanning digital interference holography. *Optics Express*, vol. 7, n° 9, p. 305-310
- Matwyschuk A. (2014). Modeling of the visual artifact in range-gated active imaging, especially in burst mode. *Applied Optics*, vol. 53, n° 19, p. 4228-4232
- Matwyschuk A. (2014). Analysis of the visual artifact in range-gated active imaging, especially in burst mode. *Applied Optics*, vol. 53, n° 27, p. 6317-6323
- Matwyschuk A. (2016). Direct method of three-dimensional imaging using the multiple-wavelength range-gated active imaging principle. *Applied Optics*, vol. 55, n° 14, p. 3782-3786
- Matwyschuk A. (2017). Multiple-wavelength range-gated active imaging principle in the accumulation mode for three-dimensional imaging. *Applied Optics*, vol. 56, n° 3, p. 682-687