

Segmentation non supervisée d'images polarimétriques passives

P. TERRIER¹, O. LOSSON¹, V. DEVLAMINCK¹
F. GALLAND², F. GOUDAIL², P. REFREGIER²

¹Laboratoire I3D, FRE 2497, Université des Sciences et Technologies de Lille, Bâtiment P3, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France

²Institut Fresnel, UMR 6133, Equipe Physique et Traitement d'Images, Dom. Univ. de St Jérôme, 13397 MARSEILLE cedex 20

e-mail : patrick.terrier@univ-lille1.fr

Résumé – Ce papier montre l'intérêt de la segmentation par grille active multi-composantes dans le traitement d'images obtenues par un système d'imagerie polarimétrique de Stokes. L'utilisation conjointe d'un système d'imagerie non-conventionnel performant et d'une méthode de traitement (segmentation) adaptée peut ainsi être mis à profit pour des applications de contrôle non-destructif. L'exemple présenté illustre en particulier la possibilité de segmenter l'image d'un objet suivant l'orientation géométrique de ses diverses facettes.

Abstract – This paper shows the performance of a multi-components segmentation process by active mesh for images obtained by a polarimetric Stokes imagery system. The joint use of a such not-conventional imagery system and of an adapted segmentation method can thus be made profitable for nondestructive control application. The proposed example illustrates the possibility of segmenting the image of an object following the geometrical orientation of its various facets.

1. Introduction :

Nous présentons ici une méthode de segmentation non supervisée d'images polarimétriques passives reposant sur l'association d'un polarimètre de Stokes fonctionnant à la cadence vidéo standard et d'un algorithme de segmentation statistique à grille adaptative.

La robustesse de l'algorithme de segmentation utilisée et la rapidité d'estimation des paramètres de polarisation de l'onde lumineuse observée, permettent ainsi d'envisager la segmentation des objets d'une scène, même lorsque le rapport signal sur bruit est faible (faible degré de polarisation). Cette méthode peut par conséquent être utilisée pour effectuer une segmentation d'objets présentant des orientations (vis à vis du dispositif d'acquisition) éloignées du voisinage de l'angle de Brewster.

2. Dispositif de mesures :

Le dispositif de mesure mis en oeuvre repose sur l'utilisation de deux retardateurs à cristaux liquides. Chacun de ces retardateurs permet de modifier l'état de polarisation de l'onde lumineuse incidente sans nécessiter d'actions mécaniques sur le dispositif (rotations par exemple). L'estimation des paramètres de Stokes $\mathcal{S} = [S_0, S_1, S_2, S_3]$ de l'onde lumineuse observée est donc plus précise et plus rapide qu'avec un polarimètre classique utilisant la rotations d'un composants optique polarimétrique [1]. Le paramètre variable de commande du dispositif n'est donc pas une position angulaire mais un retard δ . Ce retard est commandé par la valeur efficace d'une tension alternative rectangulaire qui est ajustée, à l'aide d'un PC, par l'intermédiaire d'une carte de commande.

Le schéma de principe du polarimètre est illustré fig 1.

L'onde lumineuse observée passe successivement au travers d'un filtre monochromatique centré sur la longueur d'onde

$\lambda_0=520$ nm (milieu du spectre visible), puis au travers des deux retardateurs variables suivis d'un polariseur linéaire. L'intensité lumineuse résultante est alors mesurée par une caméra CCD.

L'influence de chacun de ces composants optiques sur l'état de polarisation de l'onde lumineuse est modélisée par le formalisme de Stokes-Mueller. Le vecteur de Stokes \mathcal{S}''' de l'onde lumineuse à la sortie du polariseur linéaire est ainsi obtenu par la multiplication matricielle suivante (eq. 1) :

$$\mathcal{S}''' = M_{POL} M_{R_2} M_{R_1} \mathcal{S} \quad (1)$$

Où \mathcal{S} est le vecteur de Stokes en entrée, M_{R_1} , M_{R_2} et M_{POL} sont respectivement les matrices de Mueller des deux retardateurs à cristaux liquides et du polariseur linéaire (eq. 2-3) :

$$M_R(\delta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c^2 + s^2 \cos \delta & sc(1 - \cos \delta) & -s \sin \delta \\ 0 & sc(1 - \cos \delta) & s^2 + c^2 \cos \delta & c \sin \delta \\ 0 & s \sin \delta & -c \sin \delta & \cos \delta \end{pmatrix} \quad (2)$$

avec $c = \cos 2\psi$ et $s = \sin 2\psi$

$$M_{POL} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & \cos 2\theta & \sin 2\theta & 0 \\ \cos 2\theta & \cos^2 2\theta & \sin 2\theta \cos 2\theta & 0 \\ \sin 2\theta & \sin 2\theta \cos 2\theta & \sin^2 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

L'intensité lumineuse mesurée par la caméra CCD, correspondant au paramètre S_0''' , est donc une fonction non linéaire des paramètres de Stokes $S_{0...3}$ de l'onde lumineuse observée (eq. 4).

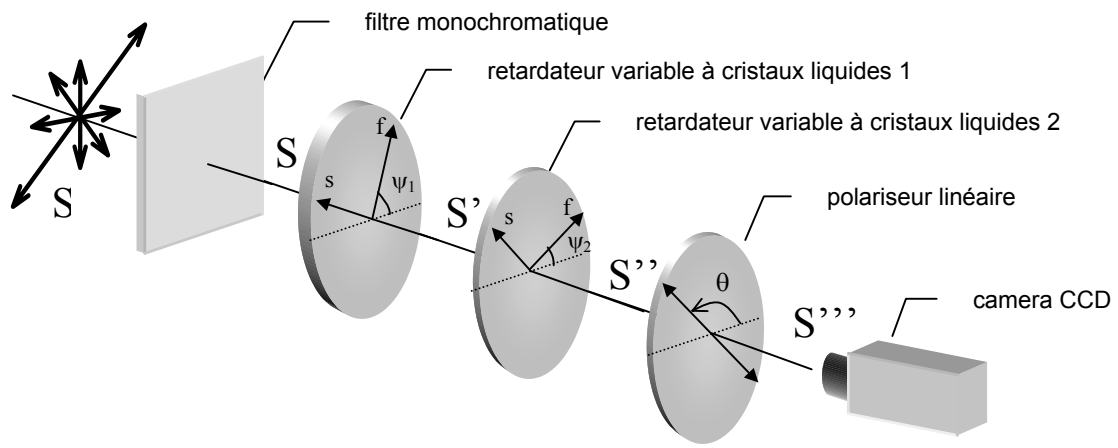


Fig. 1 : Schéma de principe du dispositif proposé

$$S_0''' = A(\delta_1, \delta_2)S_0 + B(\delta_1, \delta_2)S_1 + C(\delta_1, \delta_2)S_2 + D(\delta_1, \delta_2)S_3 \quad (4)$$

Les 4 paramètres du vecteur S peuvent par conséquent être estimés, au sens des moindres carrés, en effectuant au minimum 4 acquisitions pour 4 combinaisons des retards (δ_1, δ_2) . L'utilisation de deux retardateurs et non de un se justifie par le fait qu'avec un seul retardateur la matrice de génération des intensités $M(\delta_i)$ est mal conditionnée ($I_i = M(\delta_i)S$) quels que soient le nombre et la valeur des retards δ_i .

La vitesse maximale d'acquisition de 25 images par seconde (cadence vidéo) implique donc une estimation du vecteur de Stokes S en un temps minimal de 160 ms. Toutefois, une séquence d'au moins 8 acquisitions est souvent nécessaire de manière à ce que la surdétermination du système d'équations permette d'obtenir une estimation plus robuste des paramètres de Stokes. La période d'échantillonnage est alors de 320 ms.

3. Résultats et perspectives :

Les figures qui suivent correspondent à un exemple de séquence d'acquisition obtenue à l'aide du dispositif proposé. Cette séquence d'acquisition a été obtenue avec les paramètres suivants :

- Retardateur 1 : $\delta_1 = 80^\circ$ et 240° .
- Retardateur 2 : $\delta_2 = 0^\circ, 80^\circ, 160^\circ, 240^\circ$ et 320° .

Soit un total de 10 acquisitions réalisées avec un éclairage naturel non contrôlé. C'est donc ici le caractère spéculaire des objets qui est mis à profit (polarisation de la lumière par réflexion).

A partir de ces 10 images, les 4 images formées par les 4 composantes du vecteur de Stokes S sont calculées et représentées sur la Figure 2.

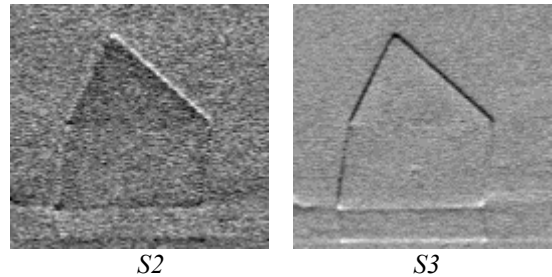
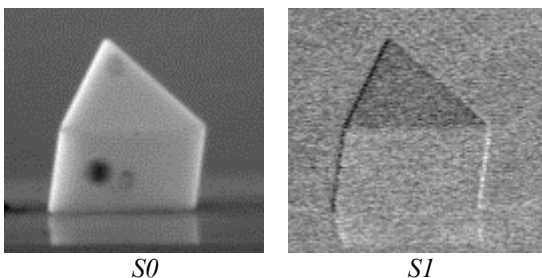


Fig. 2 : Quatre composantes d'une image de Stokes.

L'objet représenté sur la Figure 2 est composé de plusieurs facettes orientées différemment par rapport à la camera. On voit sur l'image S_0 , qui représente l'intensité réfléchie, que toutes les facettes de l'objet ont la même intensité. En revanche, l'analyse de l'état de polarisation de la lumière réfléchie permet de différencier les facettes selon leur orientation. En effet, lors de la réflexion d'une lumière dépolarisée sur une facette plane, il se produit une polarisation linéaire partielle de la lumière dans une direction reliée à l'orientation de la facette. Notre objectif est donc de segmenter l'objet en fonction de l'orientation de ses facettes. L'algorithme utilisé repose sur une approche combinant contours actifs (ou plus exactement une grille active), une approche statistique et la théorie de l'information à travers le principe du MDL (Minimum Description Length). Ses principales caractéristiques sont les suivantes:

- La segmentation se fait par minimisation d'un critère qui ne contient aucun paramètre à régler par l'utilisateur
- L'algorithme est rapide (moins d'une seconde pour segmenter les images présentées ici)
- l'approche statistique utilisée pour concevoir l'algorithme permet de prendre en compte le type de bruit présent dans l'image. Ici, nous l'avons assimilé à un bruit gaussien.

Pour plus de détails sur cette méthode de segmentation, on pourra se référer à Galland & al. [2]. Dans le cadre de la présente étude, l'algorithme a été adapté pour traiter des images multi-composantes telles que les images de Stokes. Le bruit a été supposé blanc, gaussien, et indépendant entre chaque composante.

Par construction, cet algorithme est adapté à la segmentation d'une image en zones de propriétés statistiques homogènes. Dans l'application qui nous intéresse, comme les facettes de l'objet sont planes, elles réfléchissent une lumière dont l'état de polarisation est homogène sur la surface. La méthode de segmentation par grille active peut donc être utilisée efficacement. D'autre part, dans une image de Stokes, l'information purement polarimétrique (c'est-à-dire abstraction faite des fluctuations d'intensité) est contenue [3] dans le « vecteur de Stokes réduit » s , où les coefficients $S1$, $S2$ et $S3$ sont normalisés par l'intensité réfléchie $S0$: $s = [S1/S0, S2/S0, S3/S0]$.

Les figures 3 et 4 présentent les résultats de segmentation obtenus avec la grille active sur les canaux $S0$, $S1/S0$, $S2/S2$ et $S3/S0$ pris séparément ainsi que sur le vecteur de Stokes normalisé s . On peut constater que l'utilisation des canaux pris séparément permet de mettre en évidence des structures dans l'image, car ils correspondent à des informations partielles sur l'état de polarisation de la lumière. Cependant, ils ne permettent pas de segmenter tous les bords et les facettes. En revanche, l'application de la grille sur le vecteur de Stokes normalisé, qui représente l'information polarimétrique complète, permet de segmenter correctement les facettes et les bords.

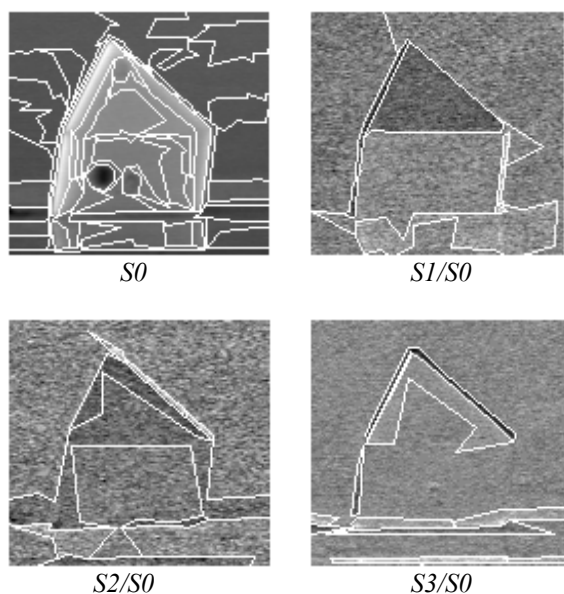


Fig. 3 : Résultats de la segmentation sur les canaux pris séparément

L'image en haut à gauche de la Fig. 3 montre le résultat de la segmentation sur l'image d'intensité ($S0$). Les deux facettes, qui se distinguent par leur orientation et non par leur réflectivité (radiométrie identique), ne peuvent être différenciées à partir de cette image. De plus, de nombreux reflets rendent l'image inhomogène, conduisant à une segmentation peu exploitable. Les autres images correspondent aux résultats de la segmentation par la technique de grille active statistique des trois composantes normalisées d'une image de Stokes. La figure 4 correspond quant à elle au résultat de la segmentation de l'image du vecteur de Stokes normalisé s . Les angles de polarisation des

facettes de l'objet ont également ainsi pu être calculés, à l'issue de la segmentation, sur les zones homogènes de l'image.

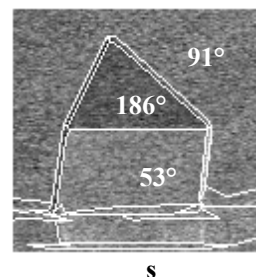


Fig. 3 : Résultats de la segmentation sur le vecteur de Stokes normalisé

Ce résultat montre que l'utilisation conjointe de l'imagerie de Stokes et de la segmentation automatique par grille active statistique permet d'obtenir des informations pertinentes comme l'angle ou le degré de polarisation moyen de chacune des facettes. Cette technique peut ainsi être appliquée à des problèmes d'estimation d'orientation d'objets en contrôle non-destructif.

Remerciements

Ce travail a fait l'objet d'un soutien du GDR ISIS dans le cadre d'un projet « Jeunes chercheur ».

Références

- [1] P. Terrier, V. Devlaminck, « Système polarimétrique pour l'analyse d'images », *Traitement du Signal*, p. 479-490, vol. 17, n° 5/6, 2000.
- [2] F. Galland, N. Bertaux, Ph. Réfrégier, « Merge, Move and Remove {MDL} based segmentation for synthetic aperture radar images », *Proceedings of ACIVS*, p. 307-414, Sept. 2002.
- [3] S. Huard, « Polarized optical wave » in *Polarization of light*, pp. 1-35, Wiley – Masson, 1997.