

Estimation d'orientations multiples : utilisation du Réseau Orienté de Lignes

F. MICHELET¹ C. GERMAIN¹ P. BAYLOU¹

¹LAP, Equipe Signal et Image, 351 cours de la Libération, 33405 TALENCE

michelet@tsi.u-bordeaux.fr, germain@tsi.u-bordeaux.fr, baylou@tsi.u-bordeaux.fr

Résumé – Cet article présente un outil pour l'étude des textures directionnelles qui peuvent présenter plusieurs orientations en un même point. Nous y proposons un opérateur fondé sur des considérations spatiales locales. Cet opérateur consiste en un réseau orientable de lignes le long desquelles nous calculons un attribut d'homogénéité. L'analyse de la réponse obtenue pour chaque orientation testée permet ainsi de déterminer la présence d'orientations simples ou multiples. Notre opérateur utilise un support de calcul réduit et permet ainsi une détermination des orientations locales en chaque pixel considéré. Nous présentons des résultats sur des textures synthétiques et des images naturelles qui montrent l'intérêt de l'opérateur.

Abstract – This paper focuses on directional textures which can have more than a single orientation at the same point. It provides a new operator based on spatial and local information around a given point. This operator consists in a steerable network of line along which a homogeneity feature is computed. The analysis of the network response along each direction allows us to set up the presence of single or multiple orientations. Our operator works on a small computing area, and given that provides a local estimation of the orientations at the desired pixel. Experiments on synthetic textures and natural images are provided, and show the relevance of our approach.

1. Introduction

1.1 Contexte de notre travail

L'estimation de l'orientation est fréquemment abordée en traitement d'image. C'est en particulier le cas pour les textures directionnelles, c'est-à-dire formées d'éléments longiformes. Les empreintes digitales, les gravures anciennes, les coupes de matériaux composites et les images sismiques sont des exemples concrets de telles textures.

Les approches différentielles fournissent une solution classique à ce problème. Elles consistent à estimer le gradient en tout point de l'image et en déduire directement l'orientation.

Toutefois, ces approches sont généralement biaisées et sensibles au bruit, et surtout, elles peuvent s'avérer défaillantes lorsque plusieurs orientations cohabitent en un même point. Cette configuration recouvre plusieurs cas :

- En un même point, plusieurs orientations coexistent, mais à des échelles différentes. La figure 1.a illustre ce phénomène. A petite échelle, on observe une orientation de 50° alors que la tendance directionnelle à plus grande échelle est de 22° .
- En un même point, plusieurs orientations coexistent à la même échelle. La figure 1.b montre un « point triple » où trois orientations distinctes sont perceptibles à la même échelle. Ce sont ces orientations que l'on cherche à estimer.

Dans le premier cas, les opérateurs fondés sur le gradient peuvent être sensibles à l'une ou l'autre des orientations, selon la taille de leur support. Dans le second cas, un gradient estimera une orientation unique qui sera une combinaison non linéaire des orientations présentes au point considéré.

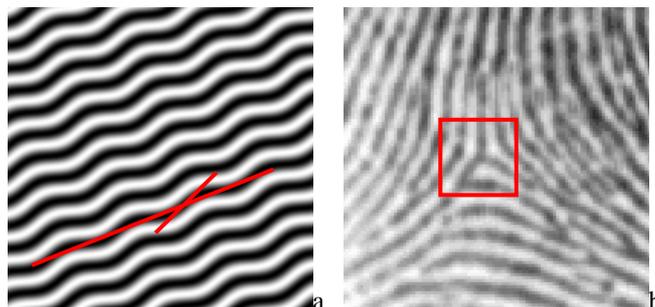


FIG. 1 : Orientations multiples : à différentes échelles ou en un même point.

Les filtres de Gabor [2], les steerable filters [1] et les wedge filters [3] apportent chacun une solution à ce problème. Les trois approches consistent à construire un filtre spécifique pour différents angles θ et de tester la réponse locale de l'image à ce filtre. Les modes de cette réponse correspondent aux orientations recherchées.

Dans le cas des filtres de Gabor, le filtre est construit dans le domaine spectral sous la forme d'une gaussienne dont le centre (ρ, θ) et les variances σ_ρ^2 et σ_θ^2 définissent à la fois l'échelle d'analyse la sélectivité et l'angle recherché.

Dans le cas des steerable filters, une base de filtres, construite pour un nombre limité d'orientations, permet de déterminer la réponse du filtre pour un angle θ quelconque par interpolation exacte.

Les filtres de Gabor et les steerable filters fournissent une réponse angulaire symétrique. Ils permettent donc d'estimer une direction modulo 180° .

A l'opposé, les wedge filters ne sont pas symétriques. Ils fournissent une estimation de l'orientation modulo 360° .

La sélectivité de ces filtres, dans le cas de texture mélangeant des orientations proches est parfois insuffisante.

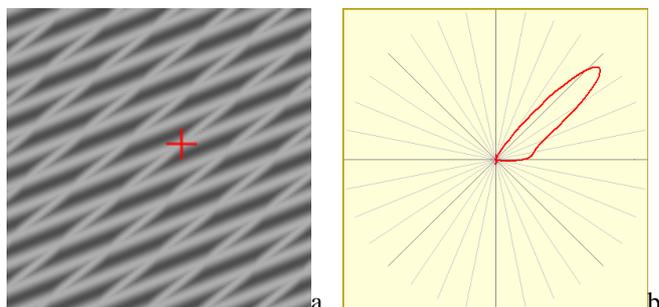


FIG. 2 : Texture présentant deux orientations et réponse du filtre de Gabor au point sélectionné

La figure 2.a montre une texture formée de la superposition de deux textures de profil ondulé, l'une orienté à 22° et l'autre à 40° . La figure 2.b montre sur une courbe polaire la réponse fournie par des filtres de Gabor de support de calcul limité à 21×21 pixels. On fait correspondre la présence d'une orientation d'angle θ à un maximum de la courbe polaire pour l'angle θ . On constate que cette courbe ne présente qu'un seul et unique lobe et ne reflète pas l'existence des deux orientations présentes.

Il serait possible d'augmenter la sélectivité du filtre de Gabor en diminuant l'épaisseur angulaire du filtre fréquentiel. Cependant, la diminution de la largeur de cette gaussienne conduit à une augmentation de la taille du support de calcul, et donc à la diminution du caractère local du filtre [5].

Pour apporter une solution à la détermination plus sélective d'orientations locales multiples, nous avons construit un nouvel opérateur fondé sur l'estimation de l'homogénéité des niveaux de gris mesurés le long d'un réseau orientable de segments de droite.

Dans le second paragraphe, nous définirons l'opérateur "Réseau Orienté de Lignes". Dans le troisième paragraphe nous montrerons sa sélectivité ainsi que son caractère local. Enfin, nous présenterons quelques perspectives d'application de ce travail.

2. L'opérateur "Réseau Orienté de Lignes"

2.1 Principes

L'opérateur "Réseau Orienté de Lignes" (ROL) est un filtre orienté dont le principe est basé sur une considération spatiale. Son principe de fonctionnement consiste à mesurer, le long d'un réseau de lignes parallèles orientées θ , un attribut fondé sur l'homogénéité des niveaux de gris des pixels rencontrés le long des lignes orientées. Cet attribut peut être choisi en fonction du type de texture rencontré et de l'effet recherché.

2.2 Construction du réseau

Les lignes parallèles qui constituent le réseau sont construites à partir de points de départ placés de part et d'autre du point considéré. Le réseau de lignes comporte toujours un nombre impair de lignes et un nombre impair de points par ligne. Selon l'angle d'orientation θ du réseau, il convient de choisir différemment les points de départ à partir desquels on va développer les lignes du réseau (Figure 3). Si $-45^\circ < \theta < 45^\circ$ ou si $135^\circ < \theta < 225^\circ$, alors les points de départ du réseau seront sur une ligne verticale, de part et d'autre du point central, sinon ils seront sur une horizontale.

Puisque la distance entre les lignes du réseau et la distance entre les points d'une ligne dépend de θ , ce changement de configuration minimise l'influence de l'angle θ sur la réponse du filtre.

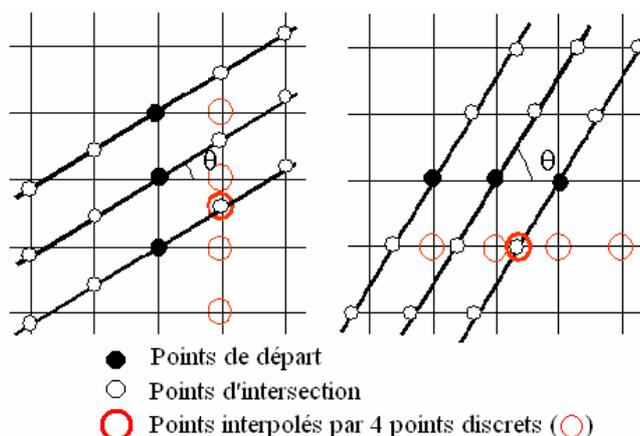


FIG. 3 : Réseau orienté de 3 lignes et 5 points par ligne pour les deux configurations d'angle

Il est également possible de construire « asymétrique » en ne développant les lignes que d'un seul côté des points de départ (ceux qui sont situés dans le demi-plan droit lorsque $\theta=0^\circ$). L'orientation sera alors estimée modulo 360° .

Si l'on souhaite établir une cartographie des directions présentes dans une image, le réseau sera alors appliqué en tout point et pour des valeurs de θ suffisamment nombreuses pour atteindre la résolution angulaire souhaitée.

Toutefois, dès que θ est différent de 0° modulo 45° les lignes du réseau ne coïncident plus avec la grille discrète des pixels. Pour pallier cette difficulté, l'attribut de notre réseau est évalué aux points d'intersection entre les lignes du réseau et les lignes de la grille des pixels parallèles à la ligne des points de départ du réseau.

Les valeurs de ces points du réseau sont calculées par une interpolation monodimensionnelle de degré 3, utilisant les valeurs de quatre pixels situés de part et d'autre du point à calculer, sur l'axe parallèle à celui des points de départ.

2.3 Les paramètres du réseau

La taille du réseau est paramétrable, et dépend de l'objectif poursuivi autant que de l'image étudiée.

Les paramètres L (le nombre de lignes du réseau) et p (le nombre de points par ligne), influent à la fois sur la taille du support de notre opérateur, et sur la forme de celui-ci.

Le support de calcul sur lequel opère le ROL est un carré de côté C . Dans le cas où le réseau de lignes est symétrique, ce côté s'exprime sous la forme :

$$C = p + L - 1 \quad (1)$$

Pour l'opérateur ROL asymétrique, il vaut :

$$C = 2p + L - 3 \quad (2)$$

Le choix de l'échelle d'analyse de l'image va directement déterminer la taille du support de calcul du ROL, et donc la valeur de C .

Quant à la forme de l'opérateur, elle est déterminée par le rapport entre le nombre de points par ligne et le nombre de lignes. Cette grandeur fixe l'allongement du réseau.

L'augmentation du nombre de lignes du réseau permet de prendre en compte plus d'informations pour chaque orientation testée et d'être moins sensible au bruit. En contrepartie, on prend en compte des points plus éloignés dans le sens orthogonal à la direction recherchée. On perd donc le caractère local de l'opérateur et sa sélectivité diminue.

Une fois tous ces paramètres déterminés, il reste à déterminer l'attribut d'homogénéité qui sera calculé le long de chaque ligne du réseau.

2.4 Attribut d'homogénéité

L'attribut retenu mesure l'homogénéité des niveaux de gris sur le réseau de lignes. Cette homogénéité H peut se formuler de façon variée. Nous avons retenu un attribut fondé sur le calcul de l'inverse de la somme sur le réseau des écarts à la moyenne $M(L)$ des niveaux de gris $n(p)$ des points p de la ligne L .

$$H = \left(\varepsilon + \sum_L \sum_p |M(L) - n(p)| \right)^{-1} \quad (3)$$

Le terme ε est proche de 0 et évite d'annuler le dénominateur.

D'autres critères peuvent être envisagés, comme par exemple la somme des écarts successifs entre les points d'une ligne, la somme des carrés de ces écarts ou la somme des écarts aux niveaux de gris des points de départ.

3. Résultats

3.1 Sélectivité du ROL

Les capacités de l'opérateur ROL à estimer des orientations locales uniques sont mises en évidence dans [4].

Montrons maintenant ses aptitudes à l'extraction d'orientations multiples et sa sélectivité angulaire. La figure 4 présente une image de synthèse faisant apparaître deux orientations assez proches l'une de l'autre. L'image est issue du mélange d'une texture orientée à 22° et d'une autre texture orientée à 40° .

La réponse d'un filtre de Gabor opérant sur un support de taille 21×21 (FIG. 4.b).

La figure 4.c montre sur une courbe polaire la réponse fournie par l'opérateur ROL symétrique. Un réseau de 5 lignes

et 17 points par lignes a été utilisé. La taille du support de calcul est donc aussi de 21 pixels.

On constate sur cette courbe que les deux pics correspondant aux deux orientations recherchées (22° et 40°) sont présents et clairement distincts. La courbe obtenue grâce aux filtres de Gabor ne présente qu'un seul et unique lobe et ne reflète pas l'existence des deux orientations.

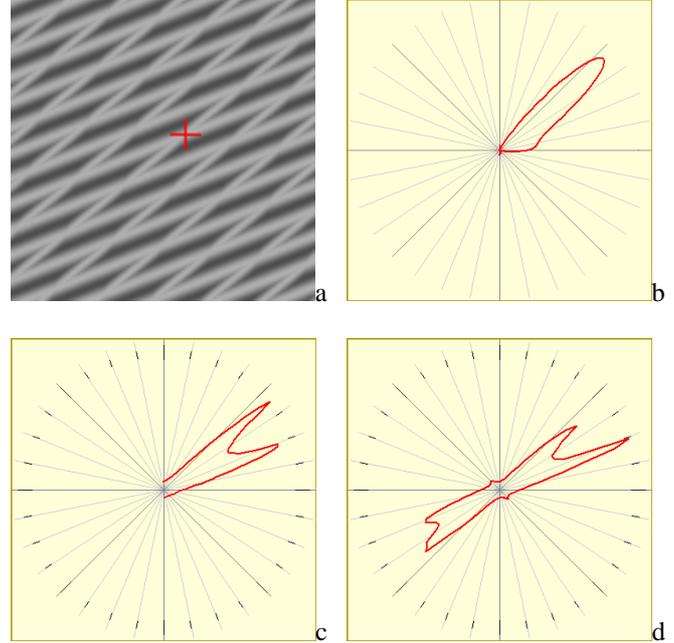


FIG. 4 : Comparaison entre le ROL et le filtre de Gabor

La sélectivité angulaire de l'opérateur ROL est donc mise en évidence. Lorsqu'on utilise un ROL asymétrique (FIG. 4.d), le résultat est similaire, au détail près que deux pics apparaissent pour chaque orientation.

3.2 Caractère local du ROL

Nous proposons maintenant de mettre en évidence le caractère local du ROL. Nous utilisons pour cela une image générée à partir d'une texture de profil sinusoïdal. La moitié gauche et la moitié droite sont orientées respectivement à 22° et -22° . Le test est répété sur la même image additionnée d'un bruit blanc gaussien de RSB 2 dB.

L'opérateur est tout d'abord appliqué en un point de la ligne de séparation des deux textures (FIG 5.b et 5.e) puis 5 pixels à droite de cette ligne médiane (FIG 5.c et 5.f). Le support de calcul de l'opérateur est de taille 32×32 pixels correspondant à un réseau asymétrique de 5 lignes et 15 points par lignes.

Pour l'image non bruitée, notre opérateur détecte les deux orientations présentes sur la ligne : 22° et -22° . De plus il ne prend pas en compte l'orientation 22° lorsque l'on s'éloigne de cette ligne de séparation, ce qui met en évidence le caractère local du ROL.

Pour l'image bruitée, notre opérateur estime les bonnes orientations sur la ligne médiane, mais avec une sélectivité moindre. Au point situé à 5 pixels de la médiane l'orientation présente (-22°) est bien estimée, mais une orientation résiduelle proche de 180° est également détectée. Le mode

correspondant à cette orientation était également présent dans la réponse sur l'image non bruitée, mais l'amplitude du pic correspondant à l'orientation principale a diminué, alors que celui correspondant à cette orientation secondaire est resté la même.

Notre attribut mesurant l'homogénéité des structures de l'image, il reflète la présence de bruit. Malgré tout, cela ne nuit pas à la détection des structures orientées.

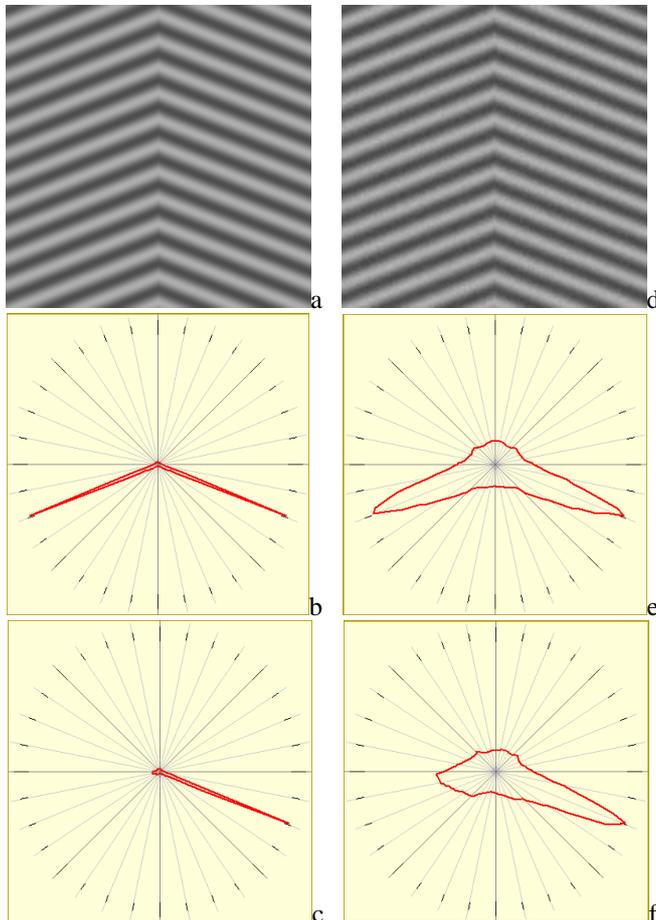


FIG. 5 : Mise en évidence du caractère local du ROL

3.3 Application à des images naturelles

Appliquons l'opérateur ROL à des images naturelles faisant apparaître des orientations multiples. Ces images sont des exemple types parmi celles que nous sommes amenés à traiter. La figure 6.a met en évidence une minutiae, point caractéristique d'une empreinte digitale, la figure 6.b représente un détail d'une gravure ancienne.

Dans les deux cas, les structures orientées sont bien détectées (FIG 6.c et 6.d), et avec précision et une sélectivité angulaire suffisante pour distinguer les modes propres à chaque structure orientée.

4. Conclusion

Nous avons présenté l'opérateur Réseau Orienté de Ligne (ROL) dans le contexte de l'estimation des orientations locales multiples en tout point d'une texture directionnelle.

Cet opérateur consiste en un réseau orienté de lignes le long desquelles nous calculons un attribut d'homogénéité.

L'analyse des modes de la réponse obtenue permet de déterminer la présence d'orientations simples ou multiples.

A travers les expérimentations que nous avons menées sur des images de synthèse comme sur des images naturelles, cet opérateur a montré son caractère local, sa robustesse au bruit et sa sélectivité angulaire.

Nous envisageons maintenant d'appliquer cet opérateur à la séparation des différents champs d'orientations superposés dans certaines classes d'images, comme les images issues de gravures anciennes, les images sismiques perturbées par un bruit penté ou les images de matériaux composites.

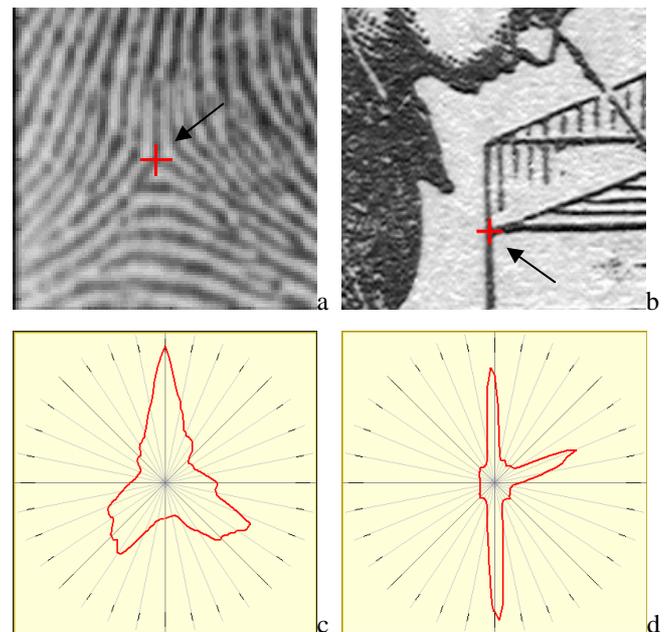


FIG. 6 : Validation de la méthode sur des images naturelles : empreinte digitale et gravure ancienne.

Références

- [1] W. Freeman, E. Adelson. *The design and use of steerable filters*. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol 13, no. 9, 1991
- [2] J. Bigün, J. Hans du Buf. *N-folded symmetries by complex moments in Gabor space and their application to unsupervised texture segmentation*. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol 16, no. 1, 1994
- [3] P. Simoncelli, H. Farid. *Steerable Wedge Filters for Local Orientation Analysis*. IEEE Trans. on Image Processing, Vol 5, no. 9, 1996
- [4] F. Le Pouliquen, C. Germain, P. Baylou. *Line orientation operator* Conférence ICIP, Thessaloniki, 2001
- [5] Eric Bruno, *De l'estimation locale à l'estimation globale du mouvement dans les sequences d'images*. Thèse de l'université Joseph Fourier, 2001