

Estimation robuste de l'orientation locale par l'opérateur IRON

F. MICHELET¹, C. GERMAIN¹, P. BAYLOU¹

¹LAPS UMR 5131 - CNRS - Université Bordeaux I - ENSEIRB - ENITAB, 351 Cours de la Libération, 33405 Talence Cedex

franck.michelet@laps.u-bordeaux1.fr, christian.germain@laps.u-bordeaux1.fr

Résumé – Cet article traite de l'estimation de l'orientation locale en tout point d'une texture directionnelle. Nous proposons un nouvel opérateur orientable spécifiquement dédié à l'estimation robuste de l'orientation locale dans une texture directionnelle bruitée. Nous obtenons une estimation de l'orientation locale à la fois plus précise et plus robuste au bruit que celles fournies par les opérateurs classiques d'estimation de l'orientation. Nous présentons des résultats à la fois sur des textures de synthèse et sur des images naturelles.

Abstract – This paper focuses on local orientation estimation at any point of a directional texture. We propose a new orientation estimation operator dedicated to the robust orientation estimation of a directional texture perturbed by an additive noise. We achieve a local orientation estimation which is more accurate and less noise sensitive than classical orientation estimation operators. We show results on both synthetic textures and natural images

1. Introduction

Cet article aborde l'estimation locale de l'orientation des textures directionnelles, c'est-à-dire des textures qui sont composées d'éléments longiformes et dont l'orientation est un paramètre prépondérant de leur caractérisation.

Deux types de méthodes permettent de déterminer l'orientation locale dans ces textures. Les premières consistent à exploiter la topologie locale de la texture pour en calculer l'orientation. C'est notamment le cas pour les estimateurs du gradient, comme celui de Deriche [1], ou encore pour les opérateurs de type gradient/vallonnement [5].

Les autres méthodes consistent le plus souvent à rechercher, par essais successifs, l'orientation correspondant à la plus forte réponse énergétique d'un filtre orienté. Les travaux utilisant les filtres de Gabor [3], ou les filtres orientables [2][7] appartiennent à cette classe de méthodes.

Cet opérateur a été initialement conçu pour estimer les orientations dans le contexte où plusieurs orientations locales apparaissent simultanément en un même lieu (Figure 1a).

Nous montrerons ici qu'en calculant un attribut approprié le long des lignes du réseau, IRON s'avère également très performant pour l'estimation robuste de l'orientation d'une texture directionnelle dans le cas où une seule orientation apparaît en un même lieu (Figure 1b).

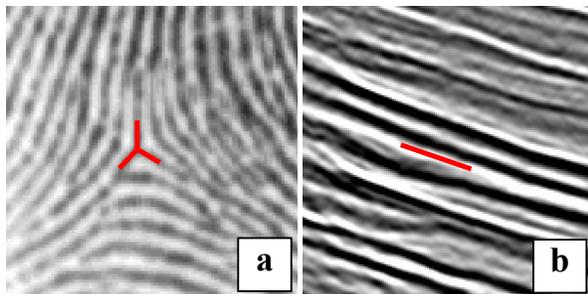
Après avoir rappelé la structure générale de l'opérateur IRON, nous lui associerons un nouvel attribut d'homogénéité fondé sur la variance. Enfin, nous confronterons les résultats d'estimation de l'orientation obtenus avec IRON, doté de cet attribut, à ceux fournis par d'autres opérateurs.

2. IRON : un réseau orienté et une implantation récursive

Pour estimer l'orientation locale en chaque pixel de l'image, le principe de notre opérateur IRON consiste à calculer un attribut textural le long des lignes d'un réseau orienté. Cet attribut, calculé pour chaque orientation testée, dépend des niveaux de gris rencontrés sur l'image le long de ces lignes. Selon l'attribut choisi, le minimum ou le maximum de la réponse angulaire de l'opérateur indique l'orientation recherchée. La précision angulaire dépend du nombre N d'orientations testées.

En chaque point de l'image $A_0(x_0, y_0)$, on applique N réseaux d'orientation respective θ_k . Chaque réseau est constitué de L lignes parallèles et chaque ligne comprend p points. La distance entre chacune des lignes du réseau, qui est aussi celle entre deux points consécutifs sur une ligne, est égale à la période d'échantillonnage de l'image (Figure 2).

Les lignes du réseau sont développées de part et d'autre du point central du réseau de manière à obtenir une estimation de l'orientation *modulo* π .



**Figure 1 : (a) orientations locales multiples
(b) orientation locale unique**

C'est également sur ce principe que s'appuie notre opérateur IRON (Isotropic and Recursive Oriented Network) introduit dans [6].

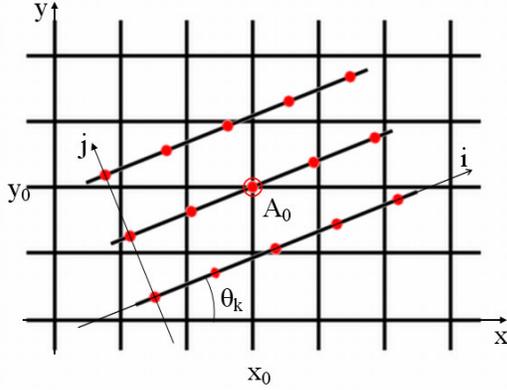


Figure 2 : Réseau symétrique de 3 lignes et 5 points par ligne, orienté d'angle θ_k

Notons qu'à l'exception des cas triviaux où $\theta=0$ modulo $\pi/2$, les points du réseau ne coïncident pas avec les points de la grille des pixels. Nous devons donc a priori calculer les valeurs de niveau de gris pour tous les points du réseau à l'aide d'une interpolation 2-D.

Afin de réduire le temps de calcul, au lieu de calculer les rotations de notre réseau sur l'image, nous effectuons des rotations de l'image et nous n'utilisons ensuite que des réseaux horizontaux et verticaux sur les images ainsi tournées.

Ceci nous permet, lorsque l'attribut s'y prête, de calculer récursivement notre attribut textural. D'autre part, la rotation de l'image est effectuée par la méthode en trois passes décrite dans [4] et ne requiert que des interpolations 1-D, peu coûteuses en temps de calcul.

3. Attributs calculés sur le réseau IRON

L'orientation locale en un point d'une image correspond à l'orientation de la tangente à la ligne d'isoniveau en ce point. L'orientation locale correspond donc à l'orientation présentant le désordre minimum ou l'homogénéité la plus forte.

Nous avons développé plusieurs attributs d'homogénéité à calculer sur chaque ligne du réseau :

- L'attribut **E** consiste à calculer les écarts de niveaux de gris entre les points successifs sur les lignes du réseau.

$$E(x, y, \theta) = \sum_{i=1}^{p-1} |v_{i,\theta} - v_{i+1,\theta}| \quad (1)$$

Cet attribut est très peu coûteux en temps de calcul mais il se montre néanmoins très perturbé par la présence d'un bruit blanc gaussien.

- L'attribut **Med** fondé sur les écarts à la médiane des niveaux de gris de chaque ligne.

$$Med(x, y, \theta) = \sum_{i=1}^p \left(\left| M_{k=1}^p(v_{k,\theta}) - v_{i,\theta} \right| \right) \quad (2)$$

$M_{i=1}^p(x_i)$ est la médiane des éléments x_i et $v_{i,\theta}$ est le niveau de gris interpolé du $i^{\text{ème}}$ point de la ligne considérée, sur le réseau orienté d'angle θ_k .

Il s'est montré plus robuste au bruit et il est également le plus précis et le plus sélectif dans le contexte de l'estimation d'orientations locales multiples [8].

Toutefois, cet opérateur peut se montrer biaisé dans les zones de forte modulation d'orientation et il ne peut pas être calculé récursivement.

- L'attribut variance **V** est fondé sur la variance des niveaux de gris le long de chaque ligne **j** du réseau.

$$V(x, y, \theta) = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p \left(v_{i,\theta} - \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p v_{k,\theta} \right)^2 \quad (3)$$

Les différentes valeurs sont ensuite combinées pour donner l'indicateur global **V_R** du réseau :

$$V_R(x, y, \theta) = \sum_{j=1}^l a_j \times V_j(x, y, \theta) \quad (4)$$

Dans le présent article, le processus de combinaison utilisé est la somme des attributs calculé sur chaque ligne, ce qui correspond aux a_j identiquement égaux à 1.

Dans le cas de l'estimation des orientations locales d'une texture directionnelle bruitée par un bruit blanc gaussien, l'attribut **V** se montre à la fois le plus robuste au bruit et peu coûteux à calculer [8]. C'est par conséquent cet attribut qui a été retenu ici pour estimer les orientations dans des images perturbées par ce type de bruit.

4. Résultats

Nous confrontons ici, IRON à d'autres méthodes d'estimation de l'orientation. Ces méthodes sont les filtres de Gabor [3], les filtres orientables [2] et le gradient de Deriche [1].

Afin de procéder à une comparaison équitable de ces méthodes, nous utilisons des paramètres aussi identiques que possible pour chacune d'entre elles.

Ainsi, pour les filtres de Gabor, les filtres orientables et notre opérateur IRON, le pas angulaire retenu est 1° .

Les filtres de Gabor et les filtres orientables ont un support de calcul de 15×15 pixels et notre réseau est composé de 11 lignes et 11 points par ligne, ce qui correspond à un support de calcul circulaire de diamètre 15 pixels quand on procède à la rotation de l'opérateur. On utilise également un gradient de Deriche avec $\alpha = 1$ pour lequel 99,99% de l'énergie du filtre est contenue dans un disque de diamètre 15 pixels. La taille du support de calcul de chacun de ces opérateurs est donc comparable.

4.1 Textures synthétiques

4.1.1 Paramètres des textures

Une texture directionnelle présentant une orientation uniforme peut être localement modélisée par une fonction de profil **h** qui détermine les variations d'amplitude dans la direction orthogonale à l'orientation de la texture. Ainsi, pour chaque pixel (x, y) , l'intensité **I** de l'image est définie par :

$$I_{\theta_0}(x, y) = h(t_{\theta_0}) \text{ avec } t_{\theta_0} = x \cdot \sin(\theta_0) - y \cdot \cos(\theta_0)$$

L'orientation de la texture est θ_0 . Une telle texture, de profil **h** sinusoïdal avec $\theta_0 = 22.5^\circ$, est présentée en Figure 3a.

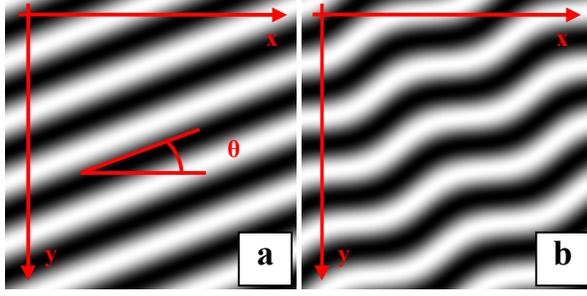


Figure 3 : Textures orientées

L'orientation n'est cependant pas nécessairement identique en tout point de l'image, c'est pourquoi nous considérons également un autre modèle textural faisant intervenir une modulation d'orientation :

$$I_{\theta_0, \theta_1}(x, y) = h(t_{\theta_0} + m(t_{\theta_1})) \quad (5)$$

La fonction de modulation est notée m et agit dans la direction θ_1 . L'orientation principale de la texture est θ_0 .

La texture correspondant à une fonction de modulation $m(t_{\theta_1})$ est présentée en Figure 3b.

$$m(t_{\theta_1}) = A \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_{mod}}(t_{\theta_1})\right) \text{ avec } \theta_1 = \theta_0 + \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

A est l'amplitude de la modulation et T_{mod} sa période.

L'estimation de l'orientation est réalisée sur ces deux textures, de période 20 pixels, perturbées par un bruit blanc gaussien à divers rapports signal à bruit (RSB).

4.1.2 Estimation de l'erreur

Afin d'évaluer la précision des différentes méthodes, nous calculons l'Ecart Angulaire Moyen (EAM), défini par :

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{(x,y)} \Delta(\hat{\theta}(x, y), \theta(x, y)) \quad (7)$$

où n est la taille de l'échantillon (i.e. le nombre de pixels (x, y) considérés), $\hat{\theta}$ représente l'orientation estimée et l'opérateur Δ est défini par :

$$\Delta(\theta_1, \theta_2) = \min(|\theta_1 - \theta_2|, \pi - |\theta_1 - \theta_2|) \quad (8)$$

L'indicateur d'erreur EAM ne peut être calculé que sur des textures synthétiques, lorsque l'orientation théorique θ est connue.

L'indicateur EAM reflète à la fois le biais et la variance de l'estimation de l'orientation.

4.1.3 Résultats

Nous commençons par comparer les différents opérateurs sur les deux précédentes textures (Figure 3), tout d'abord en l'absence de bruit, puis pour des valeurs de RSB allant de 20dB à 0dB.

Le critère de comparaison est l'EAM, exprimé en degrés, qui est calculé sur l'ensemble de l'image (Tableau 1).

L'orientation de la première texture est 22.5° , et comme le pas angulaire choisi pour les filtres orientables est de 1° , l'EAM minimal pour ces méthodes est 0.5° .

Le gradient de Deriche n'a pas cette contrainte, et il peut donner des résultats plus précis. C'est d'ailleurs ce que l'on constate dans le cas non bruité pour la première texture.

Dans le cas bruité, que ce soit pour de faibles valeurs de bruit ou pour de fortes valeurs, notre opérateur IRON, utilisant la variance comme attribut textural, donne de meilleurs résultats que les trois autres méthodes, et ce sur les deux textures étudiées.

Tableau 1 : EAM (en degrés) pour les différentes méthodes d'estimation de l'orientation

		Texture a					
RSB (dB)	-	20	10	5	1	0	
Deriche	0.02	3.84	7.71	11.85	16.52	17.67	
Gabor	0.5	2.45	4.94	7.85	11.31	14.81	
Orientables	3.41	4.56	7.15	10.67	15.54	20.98	
IRON	0.5	0.73	1.61	2.99	6.25	12.94	
		Texture b					
RSB (dB)	-	20	10	5	1	0	
Deriche	0.75	3.79	7.70	11.80	16.40	21.79	
Gabor	2.37	3.34	5.34	8.05	11.27	15.05	
Orientables	4.44	5.46	9.46	11.09	15.66	20.54	
IRON	0.75	0.99	1.8	3.49	6.18	10.86	

4.2 Image naturelle

Afin de confirmer la validité de notre approche, nous procédons maintenant à une estimation de la carte d'orientation d'une image naturelle. L'image utilisée est un extrait d'une empreinte digitale (Figure 4a). Cette image présente du bruit lié au processus d'acquisition ainsi que des imperfections de la peau qui peuvent nuire à la caractérisation de l'empreinte.

La carte d'orientation associe à chaque point de l'image un code couleur correspondant à l'orientation locale en ce point. Le code couleur utilisé est indiqué sur la palette d'orientation (Figure 4b).

L'examen des cartes d'orientation révèle que l'estimation fournie par notre opérateur est indépendante de la topologie de l'image, alors que le gradient de Deriche (Figure 5a) donne généralement des résultats erronés sur les points de crête et de vallée de l'image. De la même façon, les filtres de Gabor (Figure 5b) et les filtres orientables (Figure 5c) commettent des erreurs d'estimation aux points d'inflexion présents dans l'image.

On constate également que le gradient de Deriche et les filtres orientables sont sensibles aux imperfections cutanées présentes sur l'image. Les filtres de Gabor sont peu affectés par ces variations structurales et l'opérateur IRON y est quasiment insensible.

Enfin, l'estimation de l'orientation fournie par IRON correspond, aux erreurs de mesure près, aux orientations mesurées manuellement sur l'image.

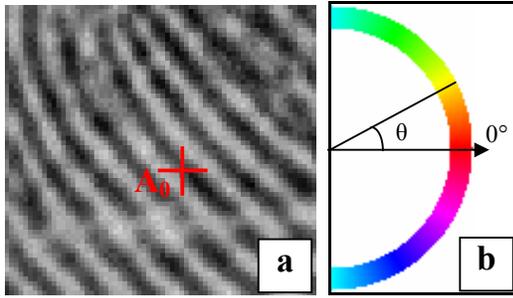


Figure 4: Empreinte digitale (extrait) et palette de couleurs pour les cartes d'orientation

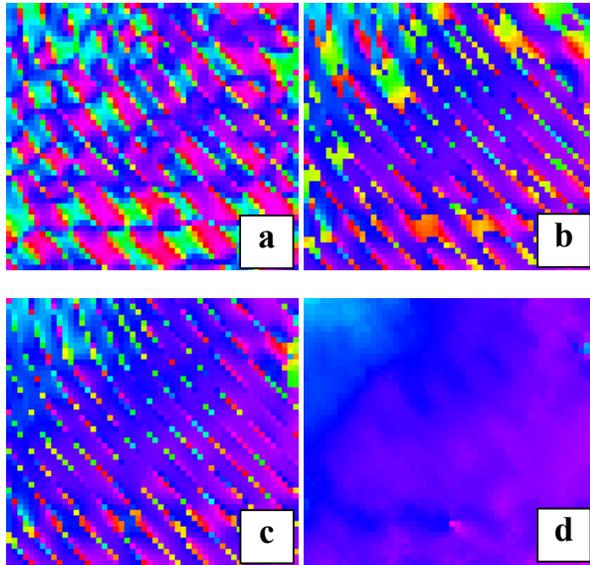


Figure 5: Estimations de la carte d'orientation

Afin de pouvoir comparer la précision des opérateurs orientables, on observe la réponse angulaire des filtres de Gabor (Figure 6a), des filtres orientables (Figure 6b) et de l'opérateur IRON (Figure 6c) au point A_0 de l'image précédente. Pour l'opérateur IRON, on trace l'inverse de l'attribut calculé V_R afin que le maximum de la réponse angulaire corresponde à l'orientation recherchée.

Ces trois opérateurs sont symétriques et donc leur réponse angulaire est π -périodique. Elle est par conséquent tracée de $-\pi/2$ à $+\pi/2$.

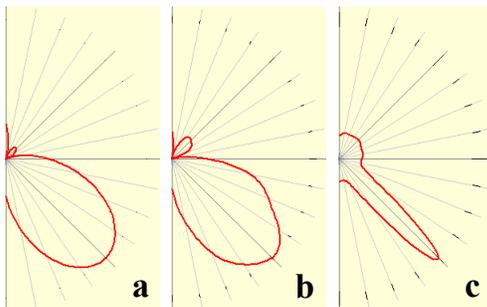


Figure 6: Réponse angulaire des opérateurs orientables au point A_0

Les trois méthodes d'estimation fournissent une réponse peu biaisée au point A_0 , estimée à -45° . On remarque néanmoins l'opérateur IRON fournit une réponse plus précise que des filtres de Gabor et des filtres orientables.

5. Conclusion

Nous avons présenté une nouvelle méthode pour l'estimation de l'orientation locale dans les textures directionnelles bruitées. Cette méthode s'appuie sur une adaptation de l'opérateur IRON, initialement conçu pour détecter et caractériser des configurations locales présentant des orientations multiples. Nous avons adapté l'attribut textural calculé le long de chaque ligne de notre réseau orientable afin d'améliorer la robustesse de l'estimation.

Appliqué sur des textures de synthèse pour l'estimation des orientations, notre opérateur s'est montré à la fois plus précis et plus robuste au bruit que les opérateurs classiquement utilisés. L'analyse de la carte d'orientation obtenue sur une image naturelle a également révélé que notre opérateur se montre robuste aux perturbations naturelles qui y sont présentes. Enfin, l'étude des réponses angulaires a confirmé la précision de notre opérateur.

Références

- [1] R. Deriche, *Fast algorithms for low-level vision*; IEEE Trans. on PAMI, vol. 12 n°1: 78-87, janv. 1990.
- [2] W.T. Freeman, E.H. Adelson, *The design and use of steerable filters*; IEEE Trans. on PAMI, vol.13 n°9: 891-906, sept. 1991.
- [3] J. Bigün, J. Hans du Buf, *N-folded symmetries by complex moments in Gabor space and their application to unsupervised texture segmentation*, IEEE Trans. on PAMI, Vol 16, n°1, 1994.
- [4] M. Unser, P. Thénevaz, L. Yaroslavsky, *Convolution-Based Interpolation for Fast, High-Quality Rotation of Images*, IEEE Trans. on Image Processing, vol.4, n°10, oct. 1995.
- [5] F. Le Pouliquen, *Opérateurs discrets pour l'estimation adaptative et optimale de l'orientation – Application à l'imagerie sismique*, PhD Thesis, Université de Bordeaux I, jan. 2003.
- [6] F. Michelet, C. Germain, P. Baylou, JP. Da Costa, *Local Multiple Orientation Estimation: Isotropic and Recursive Oriented Network*, Proceedings of ICPR 2004, Cambridge, août 2004.
- [7] M. Jacob, M. Unser, *Design of steerable filters for feature detection using Canny like criteria*, IEEE Trans. on PAMI., vol.26, n°8, août 2004.
- [8] F. Michelet, C. Germain, J.P. Da Costa, O. Lavielle, P. Baylou, *Isotropic and Recursive Oriented Network for Local Multiple Orientations Estimation*, soumis à Signal Processing.