

Un opérateur directionnel multicritère pour la détection et le suivi de lignes fines

M. Donias et P. Baylou

Equipe Signal et Image de l'ENSERB et GDR-ISIS, CNRS
Avenue du Docteur. Schweitzer, BP 99
33402 Talence Cedex, FRANCE

RÉSUMÉ

Cet article présente un opérateur local directionnel qui permet de détecter et de déterminer l'orientation de lignes fines en exploitant quelques unes de leurs propriétés intrinsèques : faible variance du niveau de gris, faible ou forte luminance moyenne, présence de fortes courbures dans la direction orthogonale. Une combinaison adéquate de ces caractéristiques, calculée sur un nombre relativement important de supports directionnels orientés fournit, sur des images réelles, une estimation précise de l'orientation locale des structures linéiques. Il est alors possible de suivre et d'extraire les lignes de crête présentes sur une image.

1 Introduction

Parce qu'elle est issue de la topographie et généralement seulement exprimée en langage naturel, la notion de ligne de crête est ambiguë. Concrètement, il s'agit d'une métaphore topographique réalisée en associant une altitude à un niveau de gris de l'image. C'est ainsi que sur une image aérienne, les éléments concernés par notre approche sont des lignes fines correspondant aux routes, aux voies de chemin de fer, aux rivières... De même que pour beaucoup d'autres caractéristiques topographiques, il en existe de multiples définitions qui conduisent à autant de méthodes algorithmiques de détection. Parmi celles-ci, des méthodes géométriques [1] s'appuient sur le calcul de dérivées partielles du niveau de gris jusqu'au troisième ordre pour extraire les points de plus forte courbure locale. Dans le cas d'images comportant de nombreux détails proches des lignes à détecter, l'estimation des différentes dérivées est fortement perturbée et conduit à des résultats généralement peu satisfaisants. La détection de lignes de crête étant un problème mal posé, l'emploi de méthodes heuristiques tel que l'opérateur directionnel que nous proposons, se justifie pleinement.

Par ailleurs, les filtres directionnels utilisés dans le traitement des images offrent beaucoup de champs d'application : analyse de texture, segmentation, détection de contours [2] ou de motifs particuliers (points anguleux, T-jonctions), réhaussement [3], filtrage [7]... Dans le domaine spatial, il s'agit de calculer une énergie fonction de l'orientation [4] afin de rechercher, par exemple, une direction dominante. Il en est de même dans cet article où nous nous attachons à rechercher localement des directions

ABSTRACT

This paper deals with a local directional operator which allows to detect and estimate the orientation of thin lines. Our approach is based on the properties of gray levels of pixels along directional domains : low standard deviation, low or high mean value, high curvature in the orthogonal direction. A linear combination of these characteristics, calculated on several directional masks provides a precise estimation of local orientation of thin lines. We show that our operator can track and extract crest lines on natural scenes.

privilegiées correspondant à des segments, des structures linéiques fines telles que des lignes de crête. La deuxième partie décrit un opérateur local directionnel très sélectif qui permet de mettre en évidence des orientations locales multiples (T-jonctions, ...). Des résultats obtenus expérimentalement sont présentés dans la dernière partie. La précision et la performance de notre opérateur sont validées à travers une image synthétique tandis que sa capacité à suivre des lignes de crête est éprouvée sur une image aérienne.

2 Détection de lignes fines

Une structure orientée telle qu'une ligne de crête, une arête ou une vallée, correspond localement à un ensemble de pixels disposés selon une direction particulière et présentant des propriétés similaires. Pour la détecter, nous définissons un ensemble de supports directionnels de rayon constant (fig. 1).

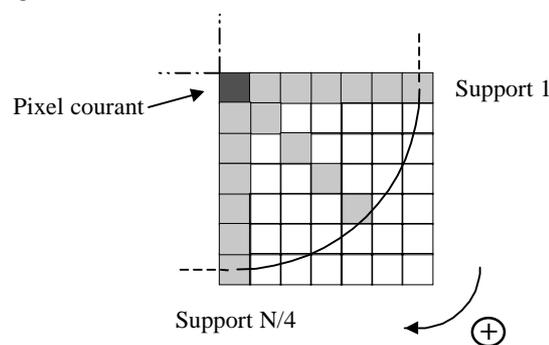


Fig. 1 : ensemble de N supports directionnels (ici représentés pour un rayon de 7 pixels)

Des attributs caractéristiques, explicités dans le paragraphe suivant, sont calculés sur chacun d’entre eux.

Comme le montre la figure 1, ces supports sont constitués d’un nombre très variable de pixels. Pour les faibles rayons envisagés, ceci a une forte incidence sur la valeur des attributs qui y sont calculés. Pour s’affranchir de ces problèmes et octroyer des propriétés isotropes à notre opérateur, nous substituons de nouveaux supports directionnels (fig. 2) à ceux présentés précédemment. Il s’agit de décrire le voisinage d’un pixel par un faisceau de rayons uniformément répartis, composés chacun d’un nombre identique de points régulièrement espacés.

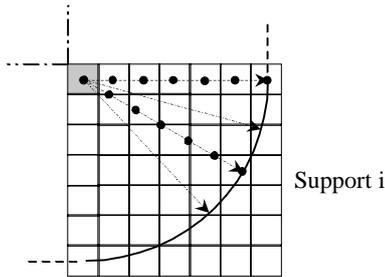


Fig. 2 : supports directionnels interpolés

L’intensité de chaque point ainsi défini est estimée par interpolation bilinéaire en fonction de celle des quatre pixels voisins.

Du fait du lissage engendré par cette interpolation, les valeurs des points interpolés sur un rayon sont généralement plus homogènes que celles des pixels appartenant au support directionnel discret sensiblement équivalent. Ceci procure une meilleure continuité aux attributs directionnels calculés à partir de ces valeurs.

2.1 Attributs caractéristiques

Par un souci de clarté, les attributs décrits dans ce paragraphe sont présentés sur des supports directionnels discrets. Leur application s’étend aux supports interpolés de la figure 2.

2.1.a) Contraste

Les structures recherchées étant souvent contrastées par rapport à leur voisinage, claires ou sombres, la moyenne des niveaux de gris ou son écart à une moyenne locale constitue un attribut caractéristique déjà utilisé dans l’algorithme Rotating Kernel Min-Max Transformation [5] et dans [2].



Fig. 3 : support i

Pour un support donné (fig. 3), dans la direction i, ce premier attribut s’exprime par :

$$\varepsilon_i(M) = \frac{1}{r} \left| \sum_{j=1}^r [I(M_{i,j}) - \bar{I}] \right|$$

où $\left\{ \begin{array}{l} I() \text{ représente l'intensité d'un pixel} \\ j \text{ est le numéro du point sur le support de direction } i \\ \bar{I} \text{ est l'intensité locale moyenne calculée sur un} \\ \text{voisinage de taille } P \times P \text{ centré sur le pixel traité} \end{array} \right.$

2.1.b) Homogénéité

L’homogénéité des niveaux de gris [8] est un autre indicateur pertinent : il s’agit tout comme dans la recherche du domaine de Nagao [5] possédant la plus faible variance (mais à des fins de filtrage) d’identifier la direction la plus homogène.

Elle se traduit par :

$$\sigma_i(M) = \frac{1}{r} \sqrt{\sum_{j=1}^r [I(M_{i,j}) - \overline{I(M_{i,j})}]^2}$$

2.1.c) Courbures

Les lignes de crête ont la particularité de présenter (fig. 4) dans une direction orthogonale à leur orientation des courbures importantes dont la valeur peut être approchée par le calcul d’une dérivée seconde.

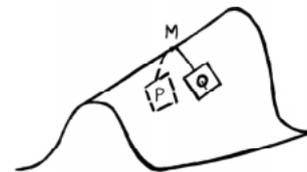


Fig. 4 : courbure orthogonale à une ligne de crête

La courbure en un point M, pour une ligne claire (arête) s’exprime par :

$$\zeta(M) = 2I(M) - I(P) - I(Q)$$

Cette courbure calculée le long du profil d’une ligne assez épaisse fait parfois apparaître deux extréma situés de part et d’autre de la crête véritable (fig. 5). Nous lui substituons donc une nouvelle estimation de la courbure, qui ne présente pas le problème de délocalisation observable sur la figure (5.b), sous la forme suivante :

$$\zeta'(M) = \text{Min}[I(M) - I(P), I(M) - I(Q)]$$

Il est possible d’exprimer cette nouvelle courbure en fonction de la précédente :

$$\zeta'(M) = \frac{1}{2} [\zeta(M) - |I(P) - I(Q)|]$$

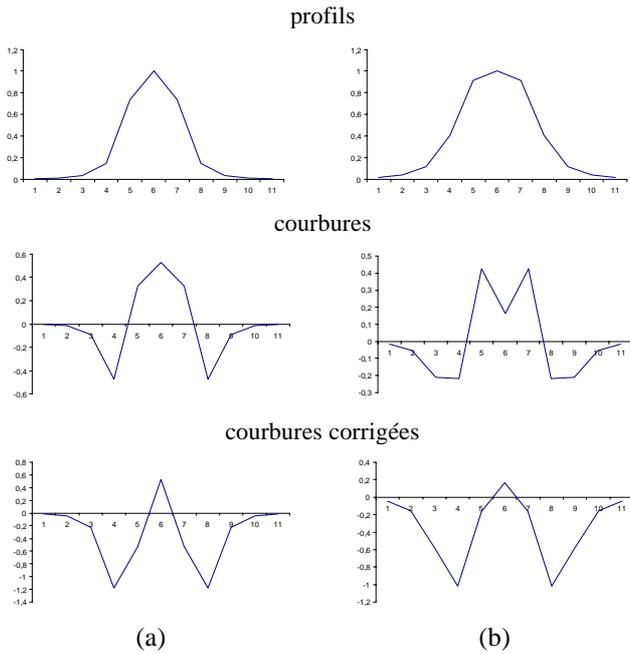


Fig. 5 : lignes de crête (arêtes) et courbures associées

Cette décomposition fait apparaître un terme régulateur qui diminue fortement la courbure lorsqu'elle n'est pas estimée précisément au sommet de la ligne de crête.

Dans une direction donnée, l'intensité totale des courbures orthogonales à une ligne claire est finalement approchée par :

$$\zeta_i(M) = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \text{Min}[I(M_{i,j}) - I(P_{i,j}), I(M_{i,j}) - I(Q_{i,j})]$$

Pour une ligne sombre (vallée), son expression est :

$$\zeta_i(M) = -\frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \text{Min}[I(P_{i,j}) - I(M_{i,j}), I(Q_{i,j}) - I(M_{i,j})]$$

2.2 Opérateur directionnel composite

Notre opérateur directionnel prend en considération chacun des trois critères définis précédemment à travers une combinaison linéaire calculée sur les supports de la figure 2.

Son expression est :

$$A_i(M) = \alpha \cdot \varepsilon_i(M) - \beta \cdot \sigma_i(M) + \gamma \cdot \zeta_i(M)$$

où α , β et γ sont des constantes positives.

La courbe angulaire obtenue à partir de l'ensemble des valeurs associées à chaque support, chaque direction considérée, fait apparaître (voir partie 3) des pics nets correspondant à des orientations locales.

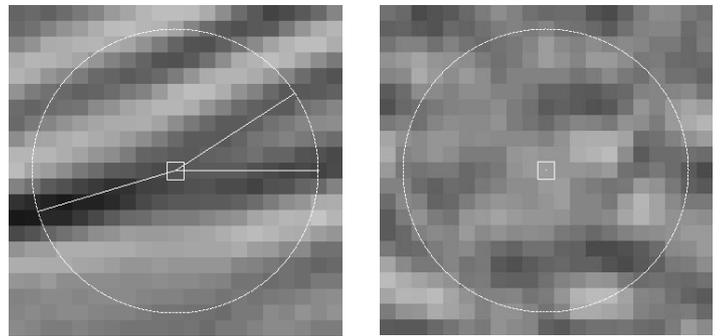
Pour extraire les directions recherchées, nous proposons deux méthodes. La première consiste à effectuer un seuillage de la courbe obtenue. Les orientations locales correspondent alors aux maxima des pics situés au delà du seuil utilisé. Etant donné l'allure générale des pics visibles sur les courbes de la figure 6, nous proposons également une détection directe : on recherche les pics vérifiant plusieurs

conditions, à savoir ceux correspondant à un maximum local suffisamment élevé et présentant une amplitude importante.

3 Résultats expérimentaux

3.1 Structures remarquables

Notre opérateur directionnel permet de distinguer (fig. 6) les différentes composantes de structures remarquables réelles (T-jonctions, structures en Y, ...) caractérisées dans la courbe angulaire par des pics nets, fins et d'amplitude importante. Au contraire, les régions ne présentant pas d'orientation particulière correspondent à des courbes chaotiques sans réels pics prononcés.



structure en Y (courbe 1)

zone chaotique (courbe 2)

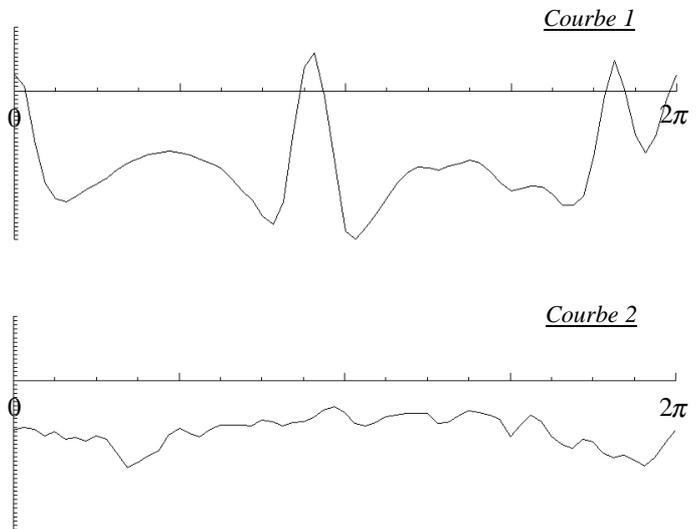


Fig. 6 : courbes angulaires (supports interpolés) correspondant à des structures remarquables sombres
 $r = 9, N = 64, \alpha = 0.8, \beta = 1, \gamma = 0.1$

3.2 Précision et performances

Afin de mesurer la précision des orientations fournies par notre opérateur, nous avons créé une image synthétique composée de lignes parallèles sombres aléatoirement espacées, de largeurs variables, modulées en amplitude (fig. 7.a et 7.c) et bruitées par un bruit blanc uniforme gaussien.

Les images (7.b) et (7.d) font apparaître les points pour lesquels une orientation correspondant à une ligne fine a été détectée tandis que la figure 8 montre la dispersion des orientations correspondantes.

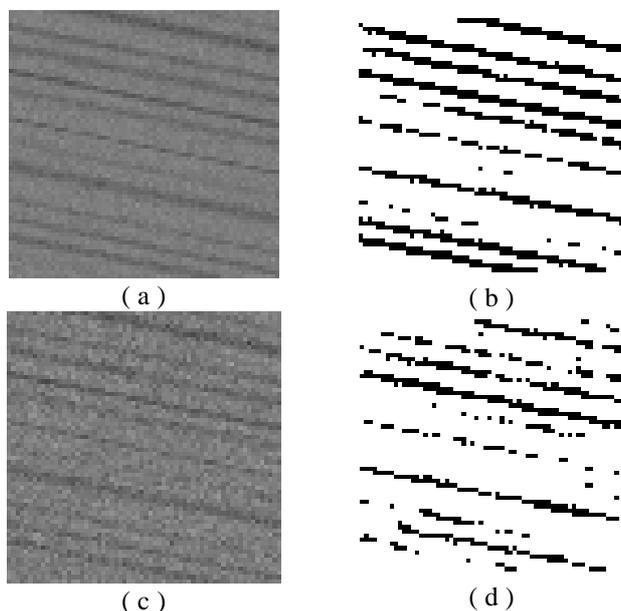


Fig. 7 : (a) et (c) images synthétiques bruitées ($\sigma=5$ et 10) ; (b) et (d) points détectés, sièges d'une orientation dominante $r = 7, N = 64, \alpha = 0.8, \beta = 1, \gamma = 0.1$

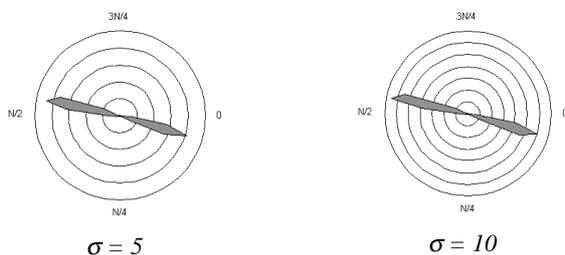


Fig. 8 : dispersion des orientations obtenues

3.3 Suivi de lignes de crête sur une image aérienne

L'image (9.b) présente les lignes de crête sombres détectées par notre opérateur directionnel sur l'image aérienne (9.a) : à partir de chaque point de l'image initiale, les orientations détectées permettent de relier le pixel courant à plusieurs de ses voisins situés à une distance donnée (par exemple, 2 ou 3 pixels) et de former ainsi, par suivis successifs, des chemins correspondant à des lignes de crête visibles sur l'image traitée. La trace globale correspondant à l'ensemble de ces chemins, seuls ceux de longueur suffisante ayant été retenus (au moins six suivis consécutifs), fait apparaître la détection correcte et précise de nombreuses structures fines telles que des routes, des voies de chemin de fer, ...

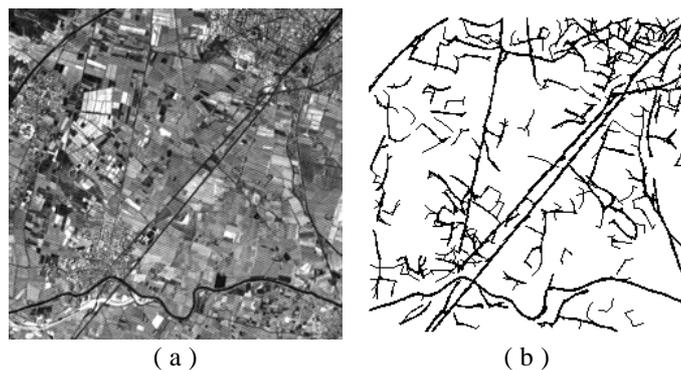


Figure 9 : (a) image aérienne et (b) lignes fines détectées

4 Conclusion

L'objectif de notre opérateur directionnel est d'analyser les orientations locales de structures complexes fines. Il permet un suivi précis de lignes de crêtes qui a été validé sur des images industrielles couvertes par la confidentialité.

5 Références

- [1] O. Monga et S. Benayoun, "Using partial derivatives of 3D images to extract typical surface features" - Computer Vision and Image Understanding, vol. 61, no. 2, pp. 171-189, March 1995.
- [2] E.P. Simoncelli and H. Farid, "Steerable wedge filters for local orientation analysis" - IEEE Trans. On Image Processing, vol. 5, no. 9, pp. 1377-1382, Sept. 1996.
- [3] R. Kutka and S. Stier, "Extraction of line properties based on direction fields" - IEEE Trans. On Medical Imaging, vol. 15, no. 1, pp. 51-58, February 1996.
- [4] W.T. Freeman and E.H. Adelson, "The design and use of steerable filters" - IEEE Trans. On Pattern Anal. Machine Intell., vol. 13, no. 9, pp 891-906, 1991.
- [5] Y.K. Lee and W.T. Rhodes, "Scale- and rotation-invariant pattern recognition by a rotating kernel min-max transformation" - Optical Information Processing System and Architectures, vol. SPIE pp. 1347(17), July 1990.
- [6] M. Nagao and T. Matsuyama, "Edge preserving smoothing" - CVGIP, vol. 9, pp. 394-407, 1979.
- [7] F.F. Presetnik and M. Filipovic, « Adaptive median filter of images degraded by speckel noise » - Signal Processing IV, Lacoume et al Eds, Elsevier, Sept. 1988, pp. 651-654.
- [8] J.L. Vila et Ph. Bolon, « Filtrage d'ordre adaptatif pour le prétraitement d'images naturelles », Quatorzième colloque GRETSI, Sept. 1993, pp. 563-566.