

Diffusion orientée pour le filtrage d'images : application à l'amélioration d'images aériennes de parcelles de vignes

O. LAVIALLE^{1,2}, R. TEREDES^{1,3}, C. GERMAIN^{1,2}, J.P. DA COSTA^{1,2}, G. GRENIER^{1,2}

¹ Equipe Signal et Image, LAP-UMR 5131, CNRS, Université Bordeaux 1, 33405 Talence cedex, France.

² ENITA de Bordeaux, BP201, 33175 Gradignan cedex, France.

³ Technical University of Cluj-Napoca 15 C. Daicoviciu Street, 3400 Cluj-Napoca, Romania

lavialle@enitab.fr ; terebes@tsi.u-bordeaux.fr ; c-germain@enitab.fr ; jp-dacosta@enitab.fr ; g-grenier@enitab.fr

Résumé – Nous proposons dans cet article une nouvelle approche pour le filtrage d'images présentant des structures orientées. La prise en compte de l'orientation des structures dans un processus de diffusion nous permet d'obtenir un fonctionnement réellement anisotrope de notre méthode de filtrage. Nous appliquons cette technique comme prétraitement d'images aériennes de parcelles de vigne dans le but d'améliorer la détection des rangs.

Abstract – This paper presents an original approach to filter and enhance images which contain oriented structures. Taking account of the structure orientation allow us to obtain a really anisotropic filtering. The oriented diffusion technique is used as a pre-processing for aerial images of vineyards in order to improve the raw detection.

1. Introduction

La problématique du filtrage d'images est d'éliminer le bruit tout en préservant les détails pertinents, les structures et les contours.

En particulier, de nombreux travaux ont été menés depuis une dizaine d'années sur des méthodes de filtrage utilisant un processus de diffusion. Le processus le plus simple consiste à opérer une diffusion linéaire parfaitement isotrope, équivalente à l'utilisation d'un filtre moyenneur, et conduit à des résultats indésirables. Son principe est résumé par l'équation :

$$\frac{\partial I}{\partial t} = I_t = \text{div}(c\nabla I) = c\Delta I \quad (1)$$

où la constante c permet de maîtriser la vitesse de diffusion.

Perona et Malik [6] ont, les premiers, introduit la notion de diffusion non linéaire dans le but de limiter la diffusion orthogonalement aux contours. Le principe est simplement d'opérer la diffusion proportionnellement à la valeur du gradient local. L'équation de diffusion est obtenue en remplaçant dans (1) le terme constant c par une fonction décroissante du gradient. Parmi les fonctions proposées, citons par exemple :

$$g(|\nabla I|) = e^{-\frac{|\nabla I|^2}{K}} \quad (2)$$

où K est une constante positive que l'on peut interpréter comme une barrière de diffusion en dessous de laquelle la diffusion est souhaitable.

D'autres auteurs ont proposé des améliorations à la méthode de Perona et Malik ou encore des approches

alternatives fondées également sur la diffusion non linéaire [1,3,4]. Par exemple, Catté et al [3] introduisent une régularisation de l'image dans le processus de Perona-Malik. Cette régularisation est obtenue en convoluant l'image par un noyau gaussien d'écart type σ et permet de garantir l'existence, l'unicité et la régularité de la solution. Bien d'autres méthodes de diffusion non linéaire ont été introduites parmi lesquelles nous pouvons citer les méthodes fondées sur la courbure [1]. Kornprobst et al. [4] ont proposé un modèle de diffusion-réaction très général combinant un filtre de choc à un lissage sélectif. L'équation du modèle contient un terme de diffusion lié à la mesure de la courbure moyenne, un terme de réaction fondé sur la théorie des filtres de chocs développée par Osher et Rudin [5], et un terme d'attache aux données permettant l'obtention d'une solution proche de l'image originale.

Pourtant, dans toutes ces approches, la notion d'orientation n'est pas prise directement en compte, ce qui conduit à des processus de diffusion qui ne sont pas clairement anisotrope.

Weickert [9] [10] a proposé un processus de diffusion réellement anisotrope. L'objectif est d'obtenir une diffusion préférentielle le long des structures fortement orientées en introduisant un tenseur de diffusion :

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \text{div}[D(J_\rho(\nabla I_\sigma))\nabla I] \quad (3)$$

Dans (3), I_σ est une version filtrée de l'image initiale. J_ρ est le tenseur de structure :

$$J_\rho(\nabla I_\sigma) = G_\rho[\nabla I_\sigma \nabla I_\sigma^T] \quad (4)$$

Dans (4), ρ représente l'échelle à laquelle l'orientation de la structure est mesurée ($\rho > \sigma$). Les vecteurs propres de J_p donnent respectivement la direction de plus grand contraste et l'orthogonale à cette direction. D , le tenseur de diffusion, possède les mêmes vecteurs propres ; ses valeurs propres étant paramétrables en fonction du résultat de diffusion recherché. Cette approche permet donc de différencier les diffusions obtenues le long des structures et orthogonalement à celles-ci en prenant en compte explicitement la notion d'orientation dans le cadre du filtrage.

2. Diffusion directionnelle

2.1 Prise en compte de l'orientation

Dans [7] et [8], nous proposons de créer un schéma de diffusion scalaire (par opposition au schéma tensoriel de Weickert) prenant en compte l'orientation de la structure mesurée au voisinage du pixel traité :

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \text{div}(g|\nabla I_\sigma| \nabla I^\theta) \quad (5)$$

La fonction g est une fonction décroissante du gradient du type de celle définie en (2). En fait, cette équation est équivalente à celle définie dans le processus de Catté à ceci près que nous modifions les composantes du gradient ∇I par :

$$\nabla I^\theta = \begin{pmatrix} I_x \cdot \cos \theta \\ I_y \cdot \sin \theta \end{pmatrix} \quad (6)$$

où θ est l'orientation des structures et I_x et I_y respectivement la composante horizontale et verticale du gradient. Dans le cadre des résultats évoqués dans la partie suivante, l'orientation a été calculée à partir d'un gradient de Sobel lissé sur un voisinage 7×7 par une Analyse en Composantes Principales.

Notons que la pénalisation du gradient proposée en (6) est relativement peu sévère. Nous pouvons imaginer l'introduction de tout type de pénalisation donnant à la fonction de diffusion un caractère plus ou moins anisotrope.

L'introduction de (6) dans le schéma de Catté permet de diffuser préférentiellement le long des directions en concordance avec l'orientation θ des structures. Notre approche met donc en jeu deux critères permettant d'obtenir une diffusion adaptée au contexte local : d'une part, très localement, la diffusion ne peut s'opérer dans une direction que lorsque le gradient est suffisamment faible et, d'autre part, la direction de diffusion est en concordance avec l'orientation de l'objet.

2.2 Schéma de discrétisation 8-V

Le schéma présenté est un schéma 4-voisinage conduisant à des résultats non invariants en rotation. Nous proposons une version 8-voisinage permettant de résoudre en partie ce problème ; c'est cette version 8-V qui sera illustrée à la section suivante.

Le filtre discret est fondé sur le schéma de diffusion de Perona-Malik en considérant la diffusivité comme un tenseur

avec des termes diagonaux $g(U_x)$ and $g(U_y)$. Un tel schéma correspond à une superposition de schémas 1D. Il est de fait non invariant en rotation en privilégiant les directions principales.

Le schéma discret 4-V correspondant à notre approche peut être écrit sous la forme d'un noyau de convolution (sous réserve d'invariance de l'orientation sur le voisinage) :

$$\begin{pmatrix} 0 & g_{i,j+1/2}|\sin\theta| & 0 \\ g_{i-1/2,j}|\cos\theta| & -S & g_{i+1/2,j}|\cos\theta| \\ 0 & g_{i,j-1/2}|\sin\theta| & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

dans (7), S est la somme des 4 poids. Les valeurs de diffusivité sont :

$$\begin{aligned} g_{i+1/2,j} &= g(I_{i+1,j} - I_{i,j}) \\ g_{i-1/2,j} &= g(I_{i-1,j} - I_{i,j}) \\ g_{i,j+1/2} &= g(I_{i,j+1} - I_{i,j}) \\ g_{i,j-1/2} &= g(I_{i,j-1} - I_{i,j}) \end{aligned} \quad (8)$$

Nous proposons une extension 8-V en considérant les 4 directions élémentaires ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$). Cette extension permet une meilleure prise en compte des structures diagonales sans conduire bien entendu à un processus invariant en rotation.

Le masque de convolution proposé devient :

$$\begin{aligned} &\alpha_p \begin{pmatrix} 0 & g_{i,j+1/2}|\sin\theta| & 0 \\ g_{i-1/2,j}|\cos\theta| & -S_p & g_{i+1/2,j}|\cos\theta| \\ 0 & g_{i,j-1/2}|\sin\theta| & 0 \end{pmatrix} + \\ &+ \alpha_d \begin{pmatrix} g_{i-1/2,j+1/2}|\cos\theta - \frac{\pi}{4}| & 0 & g_{i+1/2,j+1/2}|\cos\theta + \frac{\pi}{4}| \\ 0 & -S_d & 0 \\ g_{i-1/2,j-1/2}|\cos\theta + \frac{\pi}{4}| & 0 & g_{i+1/2,j-1/2}|\cos\theta - \frac{\pi}{4}| \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

Pour assurer la consistance de l'approximation discrète nous imposons une contrainte sur les paramètres de poids α_p et α_d liés respectivement aux directions principales et diagonales :

$$\alpha_p + 2\alpha_d = 1 \quad (10)$$

Par suite, le choix des paramètres α_p et α_d est réalisé en fonction de l'orientation locale :

$$\alpha_p = \left| 1 - |\theta| \cdot \frac{4}{\pi} \right| \quad (11)$$

Comme dans [3] nous considérons la version lissée du filtre directionnel. Lorsque nous estimons les diffusivités (termes g) les composantes du vecteur gradient sont convoluées par un noyau gaussien d'écart type σ .

3. Résultats

L'estimation de la vigueur de la végétation est un des paramètres fondamentaux dans le suivi du développement et de la santé des cultures. Dans le cas de parcelles de vigne, l'obtention de cette estimation passe par une détection des rangs sur des images de télédétection haute résolution [2]. Par exemple, la figure 1a représente une photo aérienne d'une zone viticole. L'objectif général est d'obtenir des mesures de vigueur des pieds de vigne caractérisant des zones intraparcellaires et de détecter d'éventuels pieds manquants. Un détail est représenté en 1b.

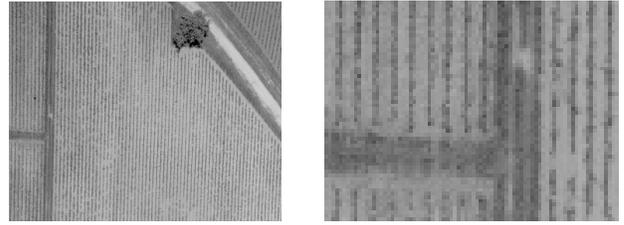


FIG. 1 : image originale. (a) image aérienne de parcelles de vignes. (b) détail

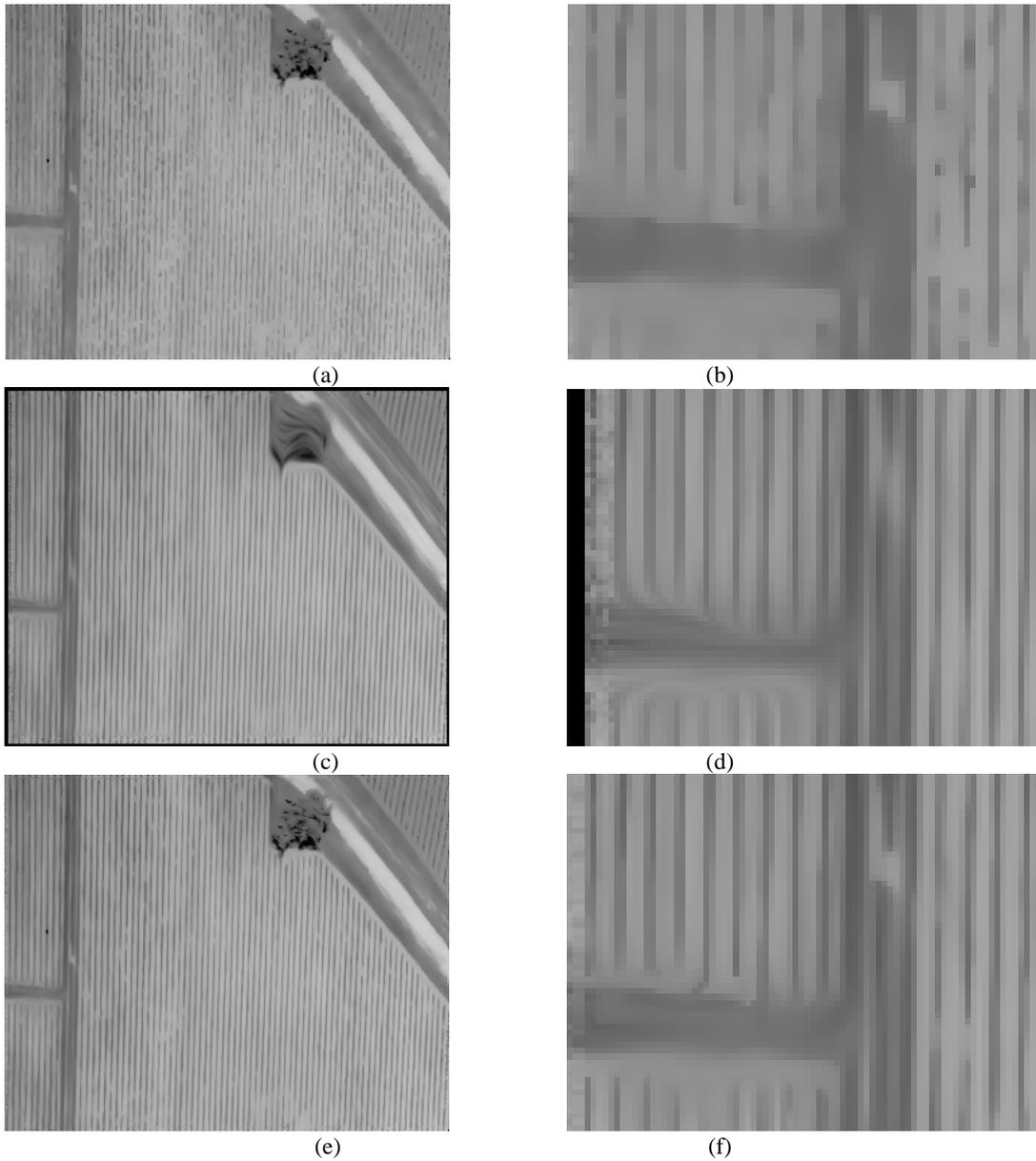


FIG. 2 : Résultats de la diffusion. (a)(b) Diffusion non linéaire de Catté, (c)(d) Diffusion tensorielle de Weickert (e)(f) Diffusion directionnelle

Le processus de diffusion présenté dans cet article doit alors être considéré comme un prétraitement des images aériennes destiné à améliorer le résultat des algorithmes de suivi et de reconstruction des rangs de vignes tels que celui proposé en [2]. Pour cela, nous cherchons donc à lisser les structures orientées tout en préservant les discontinuités pertinentes (accidents de végétation, extrémités de parcelles,...).

La figure 2 regroupe les résultats obtenus par trois méthodes de filtrage : la diffusion scalaire de Catté, la diffusion tensorielle de Weickert et la diffusion directionnelle présentée dans ce papier.

Au vu des images obtenues et en particulier sur les images 2b, 2d et 2f montrant un détail des parcelles, nous pouvons analyser le fonctionnement des diffusions opérées.

La méthode de Catté ne tient pas compte de la direction et conduit à un lissage excessif dès lors que le contraste est faible ou le bruit important. C'est particulièrement le cas dans la partie inférieure gauche de l'image 2b.

La méthode de Weickert fonctionne bien tant qu'il n'y a pas de rupture d'orientation. En construisant en tout point un tenseur d'orientation, cette diffusion conduit à la construction de fausses structures. De plus, les structures sont prolongées abusivement masquant les accidents de végétation.

La diffusion directionnelle permet de clairement rehausser les structures linéaires que sont les rangs de vigne tout en préservant les ruptures pertinentes. Notons que dans le cadre de l'exemple présenté, l'aspect 8-V n'est que peu utile dans la mesure où les structures à préserver sont essentiellement verticales ou horizontales. Bien entendu, ce n'est pas un cas général et l'invariance en rotation demeure un aspect fondamental.

4. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article une méthode permettant la prise en compte de l'information d'orientation dans un processus de diffusion. Cette technique permet d'obtenir un lissage préférentiel le long des contours et conduit à un rehaussement des structures longitudinales. Par comparaison avec les approches classiques de diffusion anisotrope, la prise en compte de l'orientation permet de s'affranchir de manière plus efficace du bruit en limitant par là même la diffusion dans la direction orthogonale aux structures. Par comparaison avec la diffusion tensorielle proposée par Weickert, notre approche ne fait pas apparaître de fausse continuité en cas de rupture d'orientation (angle droit, croisement de structures...)

Notons que les champs d'application de la diffusion directionnelle sont multiples. Outre les images aériennes, la technique a été utilisée avec succès dans le cadre du rehaussement de gravures et de documents manuscrits. Une version 3-D a été développée et est actuellement utilisée dans le cadre du rehaussement de blocs sismiques.

Références

- [1] L. Alvarez, P.L. Lions, J. M. Morel. *Image selective smoothing and edge detection by non-linear diffusion*, SIAM J Numerical Analysis, 29, pp 845-867, 1992.
- [2] W. Bobillet, J.P. Da Costa¹, C. Germain, O. Laviaille, G. Grenier. *Row detection in high resolution remote sensing images of vine fields*. ECPA-2003, Berlin, Allemagne, 2003.
- [3] F. Catté, P.L. Lions, J. M. Morel, T. Coll. *Image selective smoothing and edge detection by non-linear diffusion*, SIAM J Numerical Analysis, 29, pp. 182-193, 1992.
- [4] P. Kornprobst, R. Deriche, G. Aubert. *Image coupling, restoration and enhancement via PDE's*, Proceedings of the International Conference on Image Processing, Santa Barbara, October 1997.
- [5] S. Osher, L.I. Rudin: "Feature oriented image enhancement using shock filters" *SIAM J Numerical Analysis*, vol. 27, nr.4, 1990, pp. 919-940.
- [6] P. Perona and J. Malik. *Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion* IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.12, no.7, pp.629-639 July 1990.
- [7] R. Terebes, O. Laviaille, P. Baylou, M. Borda. *Mixed Anisotropic Diffusion* Proceedings of the IEEE International Conference on Pattern Recognition, Québec, 2002.
- [8] R. Terebes, O. Laviaille, P. Baylou, M. Borda. *Directional Anisotropic Diffusion* Proceedings of EUSIPCO 2002, Toulouse.
- [9] J. Weickert. *Multiscale texture analysis* Computer analysis of images and patterns, Lecture notes in Computer Science, Vol. 970, Springer, Berlin, pp. 230-237, 1995.
- [10] J. Weickert. *A review of nonlinear diffusion filtering, Scale Space in Computer Vision* Lecture notes in Computer Science. Vol. 1252 Springer, Berlin, pp. 3-28, 1997.