

FILTRAGE D'ORDRE ADAPTATIF POUR LE PRETRAITEMENT D'IMAGES NATURELLES

Jean-Louis VILA, Philippe BOLON

Laboratoire d'Automatique et de MicroInformatique Industrielle
LAMII / CESALP - Université de Savoie - BP 806 - F-74016 Annecy Cedex
(CNRS-GdR 134 Traitement du Signal et Image)
e-mail : bolon@univ-savoie.fr

RÉSUMÉ

Nous proposons un opérateur de prétraitement adaptatif pour le filtrage d'images naturelles. L'adaptation porte sur la géométrie de la fenêtre de filtrage dont l'orientation et la largeur sont déterminées en fonction d'informations extraites de la fenêtre d'analyse.

Le choix de l'orientation est basé sur un critère d'homogénéité. La largeur de la fenêtre d'analyse est contrôlée à l'aide d'un critère d'anisotropie locale de type distance de Canberra entre moyennes directionnelles.

L'étape de filtrage est basé sur un traitement des statistiques d'ordre dans la fenêtre sélectionnée.

Nous donnons quelques propriétés statistiques et géométriques de cet opérateur et nous présentons quelques exemples d'applications à des images réelles.

ABSTRACT

In this paper, a new adaptive order filter is introduced. It aims at reducing the noise and at preserving the structures in images of natural scenes.

The decision stage is based on a local homogeneity criterion which is used for the determination of the filtering window direction, and on a local anisotropy criterion which controls the width of this window. The filtering stage is based on order filtering.

Some statistical and geometrical properties of this filter are discussed.

We then present some results obtained with natural images from the CNRS-GdR 134 database.

1 - INTRODUCTION

Les méthodes employées en vision par ordinateur sont généralement basées sur des approches géométriques ou structurelles. Cependant, lorsqu'on veut appliquer ces méthodes à des images naturelles, on est confronté aux problèmes de bruit d'image qu'il faut atténuer par filtrage, sans affecter la forme des structures à détecter.

Dans le cas des images naturelles, les structures sont plus ou moins nettes. Selon le procédé de formation de l'image utilisé (Radiographie X, ultra-sons, SAR...), l'image peut être à la fois bruitée et texturée.

En tant que processus aléatoire, l'image doit être considérée comme non stationnaire. On est donc, naturellement conduit à définir, pour le filtrage, des opérateurs locaux et adaptatifs. Nous proposons d'utiliser un filtre d'ordre reposant sur un principe de fractionnement de la fenêtre d'analyse [NAG 79] [PRE 88] [SAL 93].

Après un rappel du principe de fonctionnement de ce filtre, nous décrivons les étages de décision et de filtrage. Puis, nous en donnons quelques propriétés statistiques et géométriques. Enfin, nous présentons des exemples d'applications à des images naturelles extraites de la banque du GdR 134 Traitement du Signal et Image.

2 - PRINCIPE

Le schéma-bloc d'un filtre adaptatif peut être décomposé en deux parties : un étage de décision et un étage de filtrage (Fig. 1).

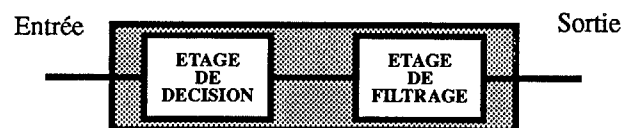


Fig. 1 : Schéma-bloc de principe

Le principe de fonctionnement du filtre consiste à adapter la géométrie de la fenêtre d'analyse à partir d'informations obtenues dans un voisinage du pixel courant. Les paramètres que nous faisons varier, ici, sont l'orientation et la largeur de la fenêtre de filtrage.

Une fois ces grandeurs obtenues, l'étape de filtrage proprement dite est basée sur un traitement des statistiques d'ordre (filtrage d'ordre) ce qui permet soit d'optimiser les performances en réduction de bruit [BOL 92], soit d'introduire une certaine robustesse vis-à-vis des perturbations impulsionnelles.

3 - ETAGE DE DECISION

Le principal problème en prétraitement d'images naturelles est la gestion du compromis entre l'effet de réduction de bruit et la conservation de la géométrie des structures présentes dans l'image. Compte tenu de la grande variabilité de forme des



structures dans les images naturelles, il n'est pas possible de définir un opérateur adapté à chacune d'entre elles. On simplifie donc l'étude en considérant que les formes des objets peuvent être décrites localement à l'aide de segments de droite discrets adjacents [CHA 91]. Le caractère local de la description est relatif à l'échelle du voisinage du pixel courant.

Le prétraitement aura pour but de préserver les structures allongées ainsi que les transitions entre régions adjacentes, tout en ayant un effet de réduction de bruit à l'intérieur des régions (zones de stationnarité locale).

L'étape de décision a pour but de déterminer la forme, l'orientation de la fenêtre et le type de filtrage à partir d'indicateurs locaux sans connaissance a priori des formes géométriques dans l'image.

3.1 - Détermination de la direction de filtrage

Le principe d'adaptation de l'orientation de la fenêtre [GUR 91][VIL 91] consiste à rechercher, dans un voisinage du pixel courant, la direction (Fig. 2) présentant la plus grande homogénéité.

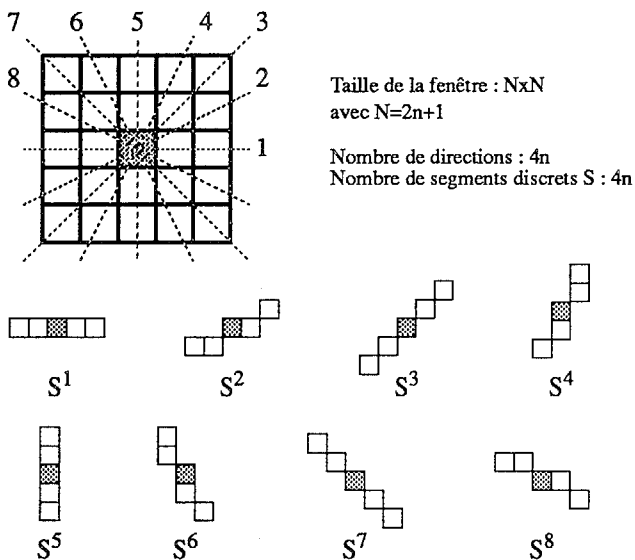


Fig. 2 : Directions et segments discrets associés ($N=5$; $n=2$)

Nous avons étudié trois critères d'homogénéité : l'étendue des niveaux de gris, le gradient et la variance [ZAM 92]. Ces critères sont évalués dans chacun des segments de droite discrets définis précédemment (Fig. 2). La direction de filtrage est choisie comme étant celle minimisant le critère. On notera S_{\min} , le segment discret associé à la direction de filtrage.

Soit $N \times N$ ($N=2n+1$), la taille de la fenêtre d'analyse. Nous utilisons les notations suivantes :

- * S^i le segment discret de direction i , $i \in [1;4n]$;
- * $\{X_j^i\}$ l'ensemble des valeurs de S^i , $j \in [1;N]$;
- * $X_{(j)}^i$ la $j^{\text{ème}}$ statistique d'ordre de $\{X_j^i\}$.

Les critères étudiés sont définis, pour le segment i , par :

$$\text{Etendue} : X_{(N)}^i - X_{(1)}^i$$

$$\text{Variance} : \text{VARIANCE}[\{X_j^i\}]$$

On peut aussi introduire une information spatiale sous la forme d'un critère de gradient : $\sum a_j X_j^i$, $j \in [1;N]$ (a_j : coefficients de type dérivée filtrée).

Le choix du critère d'homogénéité peut se faire en considérant l'effet de réduction de bruit. Pour une image stationnaire perturbée par un bruit blanc, on détermine l'écart-type empirique dans le segment S_{\min} associé à chacun des critères ci-dessus. Les résultats, pour des bruits à distribution uniforme, gaussienne et exponentielle et pour des tailles de filtre $N=5$ et $N=9$, sont donnés dans le Tableau 1.

Critère	D.d.p		gaussienne		exponentielle			
	N		5	9	5	9		
Etendue			8.6	8.4	7.4	7.1	6.5	6.1
Variance			8.5	8.2	7.4	6.9	6.4	5.9
Gradient			10	10	10	10	10	10

Tableau 1 : Ecart-type empirique dans le segment discret S_{\min} .

(Ecart-type initial $\sigma_P=10$ - Valeurs estimées à partir d'une image 512x512)

Le critère de gradient est calculé avec des coefficients a_j correspondant à la réponse impulsionnelle de dérivation de l'opérateur de Deriche tronqué à la taille du segment [DER 87]. Toutefois, sa valeur est très peu sensible au choix du paramètre d'échelle.

Il apparaît que le critère de gradient n'est pas adapté. Les résultats d'étendue et de variance sont très semblables. Nous privilégierons le critère d'étendue des niveaux de gris car il fait appel aux statistiques d'ordre qui seront réutilisées à l'étape de filtrage. On pourra également employer une quasi-étendue : $X_{(N-d)}^i - X_{(1+d)}^i$ (d entier positif), afin d'augmenter la robustesse en présence de bruit impulsionnel.

3.2 - Détermination de la largeur de la fenêtre

L'adaptation de la largeur de fenêtre permet de favoriser la réjection de bruit ou la préservation des transitions. Cette étape est contrôlée par une mesure locale d'anisotropie.

Conformément à ce que propose Zamperoni [ZAM 92], nous pouvons construire un degré d'anisotropie α tel que :

- (i) $0 \leq \alpha \leq 1$;
- (ii) Pour $\alpha=0$, Isotropie parfaite (plateau);
- (iii) Pour $\alpha=1$, Anisotropie parfaite (segment d'un pixel de largeur);
- (iv) Pour $\alpha=0.5$, présence d'une frontière entre région homogènes.

Le degré d'anisotropie retenu est une version modifiée de celui proposé dans [ZAM 92]. Pour atténuer la sensibilité par rapport au niveau de gris moyen dans la fenêtre, nous proposons d'utiliser le critère suivant :

Soit A^i , $i \in [1;4n]$, la valeur moyenne des niveaux de gris dans le segment S^i ;

Soit $A_M = \text{MAX} \{A^i\}$ pour $i \in [1;4n]$;

Soit $A_m = \text{MIN} \{A^i\}$ pour $i \in [1;4n]$;

Soit $\Delta = A_M - A_m$;

Soit $\mu = (A_M + A_m)/2$;

Le degré d'anisotropie est donné pour une image codée sur 256 niveaux :

$$\alpha = \text{MAX} \left[\frac{\Delta}{2\mu + \epsilon}, \frac{\Delta}{510 - 2\mu + \epsilon} \right] \quad \text{avec } \epsilon \text{ petit}$$



Lorsque l'anisotropie est **forte**, ce qui caractérise la présence de structures fines allongées, la sous-fenêtre de filtrage est formée du segment S_{min} (Fig. 3).

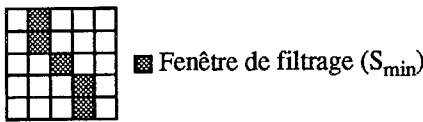


Fig. 3 : Anisotropie forte

Lorsque l'anisotropie est **faible**, la sous-fenêtre de filtrage est identique à la fenêtre d'analyse, ce qui maximise l'effet de réduction de bruit (Fig. 4).



Fig. 4 : Anisotropie faible

Dans le cas intermédiaire, la sous-fenêtre de filtrage est formée par le segment S_{min} et les deux segments discrets parallèles et adjacents à S_{min} (Fig. 5).

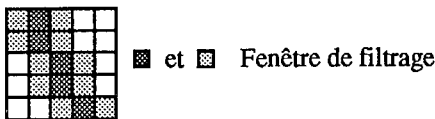


Fig. 5 : Anisotropie moyenne

La sélection de la largeur de la fenêtre de filtrage revient à effectuer une classification à partir de l'histogramme d'anisotropie. Pour cela, nous utilisons la méthode du maximum de variance interclasse.

4 - ETAGE DE FILTRAGE

Le filtrage s'effectue dans la sous-fenêtre déterminée par l'étage de décision et sur les données d'entrée triées par ordre croissant. Nous choisissons un filtre d'ordre de type L-filtre. Le jeu de coefficients du filtre est déterminé à partir d'un paramètre λ selon la formule donnée ci-dessous pour $N=2n+1$:

$$c_{n+1+i} = A \cdot \left(1 - \frac{|i|}{\lambda n}\right) \quad \text{si } |i| \leq \lambda n$$

$$= 0 \quad \text{sinon}$$

$$\text{avec } A^{-1} = \sum_{|i| \leq \lambda n} \left(1 - \frac{|i|}{\lambda n}\right)$$

Ceci permet d'avoir un éventail de filtres d'ordre allant du filtre médian ($\lambda=0$) au filtre moyenneur ($\lambda=\infty$) ce qui permet de s'adapter à la distribution du bruit.

5 - PROPRIETES

Dans cette section, nous présentons quelques propriétés statistiques, relatives à l'effet de réduction de bruit, et géométriques, associées à la préservation des structures.

5.1 - Propriétés statistiques

L'étude des propriétés statistiques est présentée dans le cas d'un modèle simplifié de bruit impulsionnel. La distribution du bruit est discrète. Les amplitudes du bruit prennent les valeurs 0 et 1 avec les probabilités respectives $(1-p)$ et p . Nous prenons $p < 1/2$.

Soit a, l'événement "Il y a une impulsion sur le pixel j du segment S^i ".

Soit b, l'événement "Le segment i est de critère minimal ($S^i=S_{min}$)".

On considère que les différents segment S^i n'ont en commun que le pixel central. Dans ces conditions, on peut calculer la probabilité conditionnelle $P(a/b)$ d'apparition d'une impulsion dans un pixel appartenant au segment S_{min} :

$$P(a/b) = \frac{p^2(1-p^{N-1})^{T-1}(1-p^{N-2}) + p(1-p)(1-(1-p)^{N-1})^{T-1} + p^N}{[1-p^N + (1-p)^N]^T + p^N + (1-p)^N}$$

Avec T : Le nombre de segments considérés

Les courbes des Fig. 6 et Fig. 7 mettent en évidence l'influence de la taille de la fenêtre et de la probabilité a priori d'apparition d'une impulsion sur cette probabilité conditionnelle. Les valeurs expérimentales sont très proches des valeurs théoriques ce qui confirme la validité du modèle.

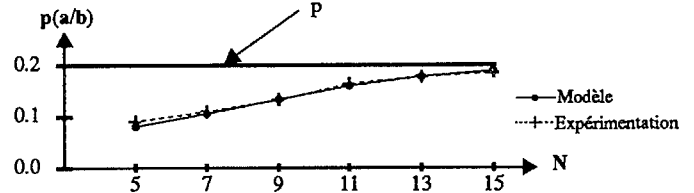


Fig. 6 : Influence de la taille de la fenêtre N ($T=4n$)

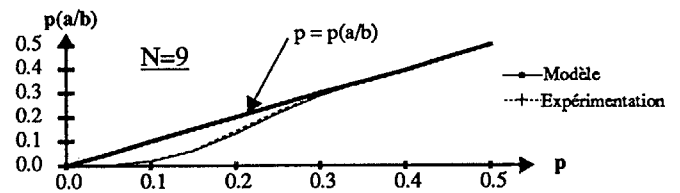


Fig. 7 : Influence de la probabilité a priori p ($T=4n$)

Dans le segment discret S_{min} , la probabilité d'apparition d'une valeur aberrante est plus faible que dans l'image initiale. La distribution du bruit, conditionnellement à l'appartenance au segment S_{min} , est donc modifiée par rapport à la distribution initiale. Cette modification correspond à l'effet de réduction de bruit que l'on a mis en évidence dans le Tableau 1.

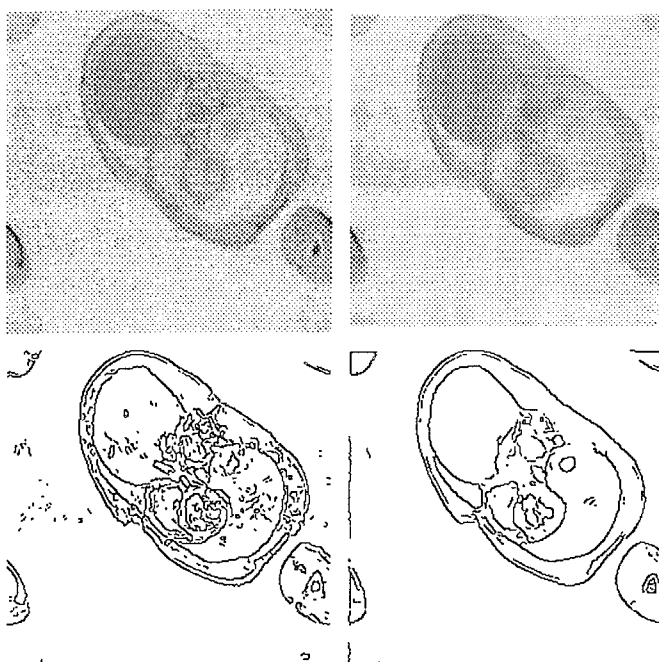
5.2 - Propriétés géométriques

De part la nature du filtrage directionnel, basé sur des segments de droite discrets, les structures fines, allongées et d'orientation quelconque peuvent être intégralement préservées.

L'effet de chanfrein sur les angles peut être limité par le choix d'un λ petit. De la même façon, les transitions seront préservées.

6 - APPLICATIONS

Nous présentons des résultats de traitements d'image naturelles extraites de la banque d'images du GdR 134 Traitement du Signal et Image du CNRS. L'effet de filtrage peut s'apprécier soit directement, soit en analysant l'image des contours obtenue par l'opérateur de Deriche [DER 87].



1) Image initiale

2) Image filtrée (N=11)

Anisotropie faible : filtre médian 2D ($\lambda=0$)

Anisotropie moyenne : filtre médian directionnel élargi ($\lambda=0$)

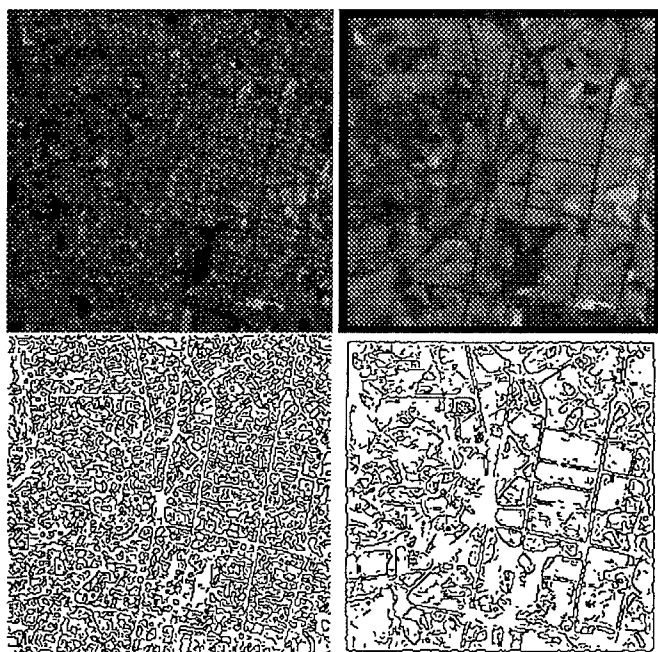
Anisotropie forte : L-filtre directionnel ($\lambda=1$)

3) Contour Deriche de 1) (Facteur d'échelle = 1.5)

4) Contour Deriche de 2) (Facteur d'échelle = 1.5)

1	2
3	4

Fig. 8 : Image IRM



1) Image initiale

2) Image filtrée (N=11)

Anisotropie faible : filtre médian 2D ($\lambda=0$)

Anisotropie moyenne : filtre médian directionnel élargi ($\lambda=0$)

Anisotropie forte : L-filtre directionnel ($\lambda=1$)

3) Contour Deriche de 1) (Facteur d'échelle = 1.5)

4) Contour Deriche de 2) (Facteur d'échelle = 1.5)

1	2
3	4

Fig. 9 : Image QUITO

L'image *IRM* (Fig. 8) souligne l'amélioration, due au prétraitement, sur la qualité et la fiabilité des contours.

L'image *QUITO* (Fig. 9) met en évidence l'effet de réduction de bruit et la préservation des structures fines et allongées quelque soit leurs orientations.

7 - CONCLUSION

La prise en compte d'informations locales en vue d'adapter la fenêtre de filtrage améliore sensiblement le fonctionnement des opérateurs de prétraitement d'image.

Contrairement aux opérateurs proposés par Nagao, Presetnik ou Salembier, les directions de filtrage que nous utilisons ne sont pas limitées aux lignes, colonnes et diagonales de l'image. Ceci permet d'augmenter la taille du filtre, et donc, le pouvoir de lissage du bruit, en introduisant un minimum de distorsions géométriques. De plus, la robustesse du filtrage vis-à-vis des perturbations impulsives autorise l'emploi de toutes les statistiques d'ordre dans l'étape de filtrage.

BIBLIOGRAPHIE

- [BOL 92] Ph. Bolon, "Filtrage d'ordre, vraisemblance et optimalité des prétraitements d'image", *Traitement du Signal*, vol.9 no.3, octobre 1992, pp. 225-250
- [CHA 91] J.-M. Chassery et A. Montanvert, "Géométrie discrète en analyse d'images", *Traité des nouvelles technologies série Images*, Hermès, 1991, pp. 64-73
- [DER 87] Deriche R., "Détection optimale de contours avec une mise en œuvre récursive", 11^{ème} colloque GRETSI, Nice, 1-5 Juin 1987, pp. 483-486.
- [GUR 91] M. I. Güreli, L. Onural, "The adaptive directional median filter", *Computer and Information Sciences VI, Proceedings of the 1991 International Symposium on Computer and Information Sciences*, Vol. II, pp. 973-979, Antalya, Turkey, 30 october-2 november 1991
- [NAG 79] M. Nagao, T. Matsuyama, "Edge preserving smoothing", *CVGIP*, Vol.9, 1979, pp. 394-407
- [PRE 88] F.F. Presetnik, M.Filipovic, "Adaptive median filter of images degraded by speckel noise", in *Signal Processing IV*, Lacoume et al Eds, Elsevier, Septembre 1988, pp. 651-654
- [SAL 93] Ph. Salembier, "Unsupervised morphological segmentation for images", *Proceedings of IEEE Workshop on Non linear Digital Signal Processing*, Tampere, January 1993, pp. 6.1.2.1-6
- [VIL 91] J.L. Vila, "Méthodes adaptatives de traitement et d'analyse d'images : Application aux autoradiographies de gel de séquence d'A.D.N.", *Rapport Région-Rhône Alpes*, Juin 1991
- [ZAM 92] P. Zamperoni, "Adaptive rank-order filters for image processing based on local anisotropy measures", *Digital Signal Processing*, Vol.2, 1992, pp. 174-182