

Evaluation quantitative d'images filtrées

D. COQUIN, Ph. BOLON, Y. CHEHADEH

Laboratoire d'Automatique et MicroInformatique Industrielle
LAMII / CESALP - Université de Savoie - B.P 806 - F.74016 Annecy Cedex (France)
(CNRS Gdr ISIS)
Email : coquin@univ-savoie.fr

Résumé

Nous proposons une méthode qui permet de comparer quantitativement des images en niveaux de gris en calculant un critère de dissimilarité. Le principe est basé sur le calcul de la distance entre voxels en maillage parallélépipédique. Ce critère de dissimilarité tient compte à la fois des erreurs sur l'amplitude et les déformations de la géométrie des structures présentes dans l'image. Le poids de chacune des classes d'erreurs peut être ajusté par l'intermédiaire d'un paramètre de réglage de l'opérateur local de distance. Une application à l'évaluation des opérateurs de filtrage est présentée.

Abstract

In this paper a method aiming at measuring the dissimilarity between two grey level images is introduced. It is based on a 3D local distance operator adapted to parallelepipedic grids. This dissimilarity index takes intensity distortions as well as geometrical distortions into account. An application to the assessment of filtering operators is presented.

1- Introduction

En traitement d'images, l'étape de prétraitement est très importante puisqu'elle a pour but de réduire le bruit tout en préservant la forme des structures présentes dans l'image. Le prétraitement se fait par filtrage dont les performances sont difficiles à évaluer. Nous nous intéressons à la mise au point de critères d'évaluation quantitatifs, qui mettent en évidence les performances des opérateurs utilisés lors d'un traitement. Cette évaluation nécessite un critère numérique basé sur la comparaison entre une image bruitée et sa version filtrée. Les méthodes basées sur l'erreur quadratique moyenne ne sont pas adaptées puisque ce critère dépend uniquement de la différence des niveaux de gris, sans tenir compte de l'information géométrique présente dans l'image.

Dans [7] la distance de Hausdorff est utilisée pour comparer deux ensembles de points de contours présents dans deux images binaires. Un critère robuste est défini.

Dans ce papier nous proposons une nouvelle méthode basée sur une mesure de dissimilarité entre deux images à niveaux de gris. La dissimilarité est calculée à partir de la distance de Baddeley entre deux ensembles, dont nous rappelons le principe dans le paragraphe 2. La distance de Baddeley nécessite l'utilisation d'une distance. Nous utiliserons un opérateur local de distance 3D [4]. Le paragraphe 3 met en évidence l'insuffisance des critères basés sur l'EQM, et propose l'utilisation de la distance de Baddeley. Enfin nous donnons les résultats d'une étude expérimentale portant sur quelques filtres.

2- La distance de Baddeley

Pour évaluer la dissimilarité entre une image filtrée B et l'image de référence A associée, nous utilisons la distance de Baddeley [1] qui est une extension de la distance de Hausdorff. Nous rappelons ici le principe.

2.1 Principe

Soit $S \subset Z^2$ le domaine sur lequel les images sont définies. Soit $G = \{0, 1, \dots, 255\}$ l'ensemble des niveaux de gris. L'image de référence A (resp. B) peut être vue comme une fonction notée $f_A: S \rightarrow G$ (resp. f_B), ou encore comme une fonction binaire notée

$F_A: S \times G \rightarrow \{0, 1\}$ (resp. F_B), définie de la façon suivante:

$$F_A(x,y,g) = \begin{cases} 1 & \text{si } f_A(x,y) = g \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

L'ensemble des points constituant l'image forme une surface dans l'espace 3D. Tous les points de cette surface sont étiquetés à 1. C'est donc un ensemble binaire dans l'espace 3D.

Soient A et B deux ensembles binaires (ici les surfaces) à comparer. La distance de Baddeley entre A et B est définie par:

$$D(A, B) = \left[\frac{1}{N} \sum_{v \in V} |d_A(v) - d_B(v)|^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

où $v=(x,y,g)$ est un voxel

N est le nombre de voxels dans le volume $V = S \times G$

p étant une puissance (on prend généralement $p = 2$)

$d_A(v)$ (resp. $d_B(v)$) est la distance euclidienne entre le voxel v et la surface de référence (ensemble binaire caractérisant l'image A (resp. B)) (voir Fig. 1)

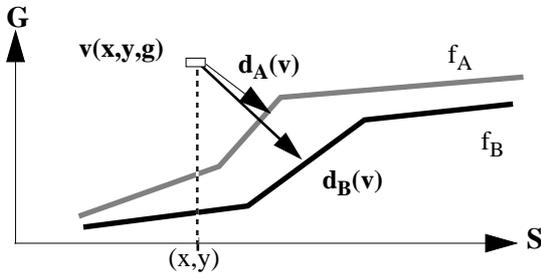


Figure 1: Distance entre 2 images.

2.2 Implantation

Afin de réduire le temps de calcul, les distances euclidiennes $d_A(v)$ et $d_B(v)$ sont approximées au moyen d'un opérateur local de distance 3D [3,4,6]. Nous utilisons une transformation de distance qui permet d'avoir très rapidement une image de distance 3D, composée d'iso-surfaces. Chaque iso-surface est constituées de points qui sont à une distance égale de la surface de référence [2]. Les distances globales sont alors calculées par propagation des distances locales, c'est à dire à partir de la connaissance des distances au voisinage d'un voxel. Des algorithmes séquentiels ou parallèles [5] permettent d'obtenir très rapidement l'image de distance associée.

2.3 Opérateur local de distance 3D

L'opérateur local de distance 3D prend en compte non seulement la valeur du pixel courant, mais aussi la valeur des pixels de son voisinage. Dans [4] nous avons montré l'utilisation d'un opérateur de distance 3D pour localiser et calculer la perte d'informations due aux opérations de compression - décompression sur des images. Un critère global était présenté, basé sur la distance la plus courte, voxel par voxel, entre les deux surfaces caractérisant les deux images à niveaux de gris.

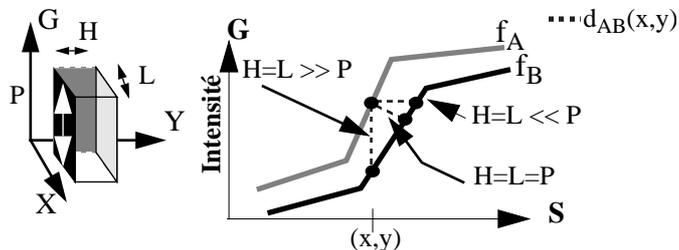


Figure 2: Distance entre les 2 images en fonction des paramètres du voxel

Suivant la valeur des paramètres L, H et P caractérisant le voxel v , il est possible de privilégier les déplacements dans le plan XOY , par rapport à ceux des niveaux de gris OG . En prenant $L=H \ll P$, les déplacements latéraux sont fortement privilégiés par rapport aux déplacement verticaux (i.e. selon l'axe des intensités). La valeur de D_{AB} mesurera les distorsions spatiales. De même en considérant le cas $L=H \gg P$, on privilégiera les

déplacements suivant l'axe des niveaux de gris, D_{AB} mesurera les différences d'intensité pixel/pixel (Fig. 2). En faisant varier les paramètres L, H et P du voxel, l'opérateur local de distance permet de localiser les effets des opérateurs de filtrage.

3- Utilisation de la distance de Baddeley pour la comparaison d'images

La comparaison d'images à niveaux de gris nécessite un critère quantitatif pour l'évaluation des performances des méthodes de prétraitement. Les critères numériques qui existent actuellement sont généralement basés sur l'Erreur Quadratique Moyenne (EQM) et donc tiennent compte uniquement de la différence des niveaux de gris de l'image, sans faire intervenir l'information sur les structures présentes dans celle-ci. Le critère décrit dans le paragraphe 2.1 tient compte de cet aspect. Dans ce paragraphe nous allons mettre en évidence l'insuffisance des critères basés sur l'EQM par rapport à ceux basés sur la distance de Baddeley.

3.1 Exemple

La figure 3 montre une image de référence A et deux images filtrées B1 et B2. L'image B1 a subi un prétraitement qui préserve les contours à une translation près. Par contre ce n'est pas le cas de l'image B2, où les contours sont lissés.

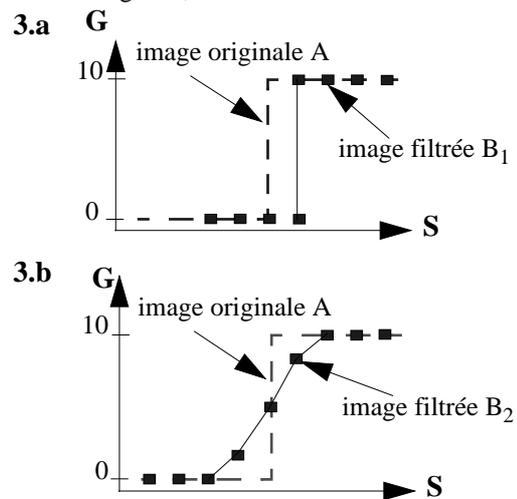


Figure 3: Etude sur deux images filtrées

Les valeurs numériques obtenues sont:

Baddeley: $D(A,B1) = 1.81$ $D(A,B2) = 5.19$

EQM: $EQM(A,B1) = 1.78$ $EQM(A,B2) = 1.63$

Pour le calcul de la distance de Baddeley, nous avons considéré un volume de hauteur $G=20$, de support $S=32 \times 32$, et $p=2$, la distance locale est calculée par un opérateur $3 \times 3 \times 3$.

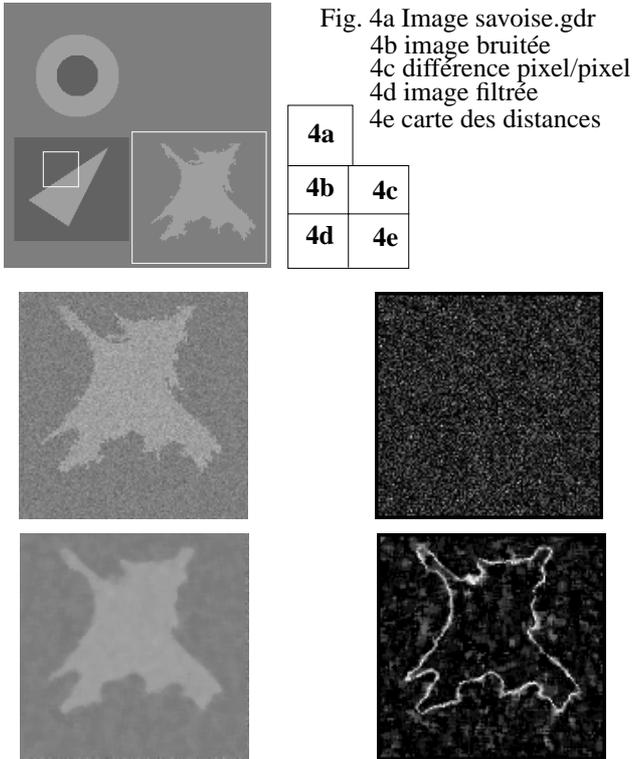
Ainsi, selon le critère d'erreur quadratique moyenne, la meilleure image est B2, alors que l'information sur les contours y est très perturbée. En terme géométrique, on souhaiterait que l'image B1 soit privilégiée.

4- Résultats expérimentaux

Dans cette section, nous présentons des résultats expérimentaux

taux, obtenus pour différents filtres de taille 5x5, et pour un bruit exponentiel d'écart-type $\sigma=10$. Des résultats semblables peuvent être obtenus avec d'autres catégories de filtres et pour d'autres bruits. Nous montrons ici quelques résultats sur un exemple.

L'image de référence provient de la base de données du Gdr ISIS (Fig. 4). Cette image est formée de 4 sous-images, chacune contient une structure différente selon les quadrants (ronde, angulaire, où fractale).



La figure 4b montre l'image originale bruitée, la carte des différences (4c) de l'image bruitée par rapport à l'image de référence (4a), l'image filtrée par un filtre médian (4d) et sa carte des distances associées (4e) par rapport à l'image de référence.

La figure 4e montre l'importance de la distorsion (zones claires) de la forme, et permet donc de faire l'évaluation du filtrage. On note une distorsion plus importante sur le contour, que par rapport au fond de l'image.

La figure 5 montre une sous-image extraite de l'image savoise.gdr, contenant un contour net. L'image est bruitée par un bruit de type exponentiel avec un écart type de 10. L'image bruitée est ensuite filtrée par 3 filtres: médian, moyennneur et adaptatif directionnel pondéré [8]. Les cartes des distances sont calculées par un opérateur local 3x3x3. Dans le premier exemple nous avons considéré $L=H=P=1$.

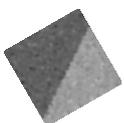


Fig. 5: sous-image bruitée

Fig. 6: image bruitée, bruit exponentiel $\sigma = 10$

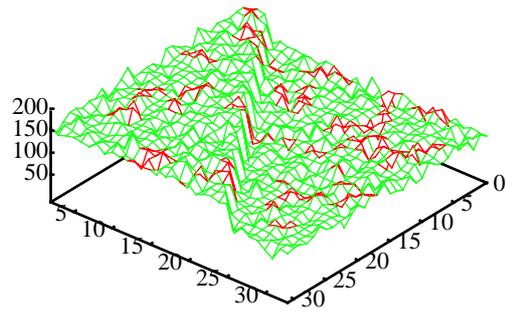
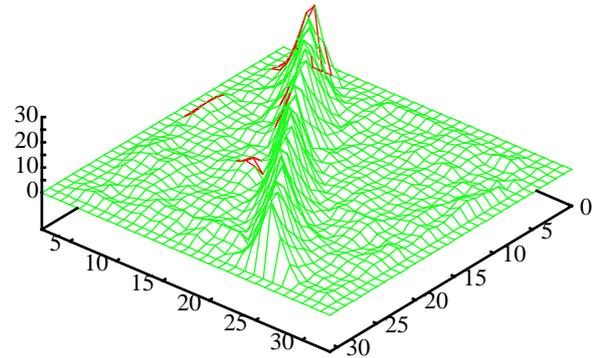
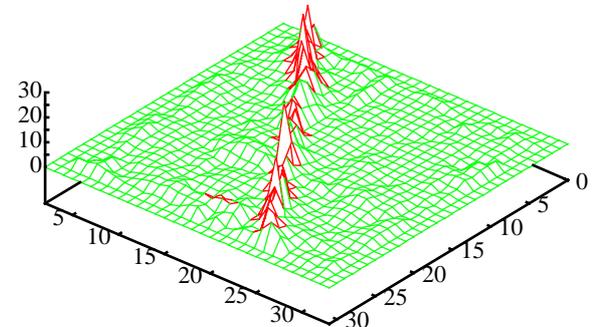


Fig. 7: carte des distances du filtre moyennneur 5x5



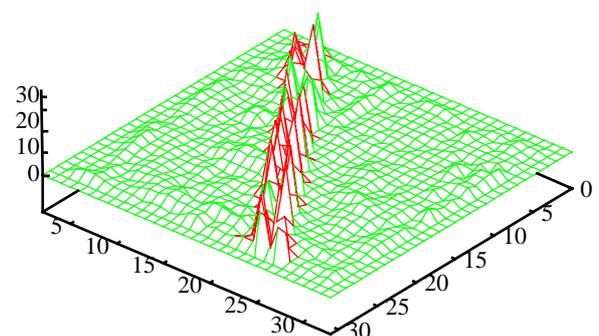
A partir de cette carte de distances, on remarque que c'est sur le contour que l'erreur est la plus importante, La zone erronée a une largeur de 5 pixels environ.

Fig. 8: carte des distances du filtres médian 5x5



Pour un filtre médian, on retrouve une erreur sur le contour mais la largeur de la zone erronée est seulement de 2 pixels

Fig. 9: carte des distances du filtre adaptatif directionnel pondéré



Le filtre adaptatif directionnel pondéré, quant à lui introduit

une erreur de part et d'autre du contour de 2 pixels de largeur. Par contre, la partie centrale, qui correspond au contour est bien préservée.

Le tableau 1 résume, de façon numérique les résultats précédents. Différentes combinaisons des paramètres ont été testées.

type de filtrage	L=H=P=1	L=H=1 P=10	L=H=10 P=1
moyen	25,87	115,30	31,26
adaptif directionnel pondéré	24,48	110,76	12,97
médian	23,47	108,63	15,34

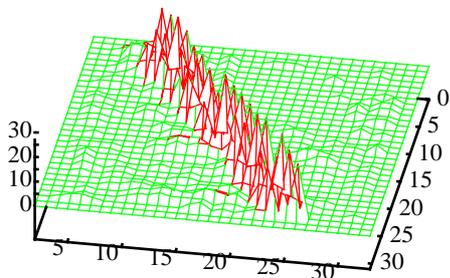
Tableau 1: Evaluation numérique des filtres, D_{AB} pour différentes valeurs de L , H et P

Le critère global de dissimilarité D_{AB} permet de classer les filtres les uns par rapport aux autres et permet également d'analyser les distorsions qu'ils entraînent tant spatialement que verticalement.

Les figures 10 à 12 permettent d'analyser les distorsions spatiales et horizontales des filtres. Il suffit de calculer la carte des distances avec $L = H = 1$, et $P = 10$. Prenons le cas du filtre adaptatif directionnel pondéré.

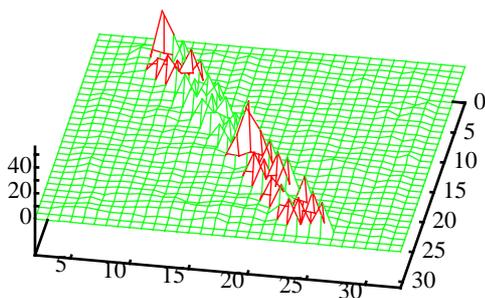
Fig. 10: carte des distances $L=H=1$, $P=10$

filtre adaptatif directionnel pondéré



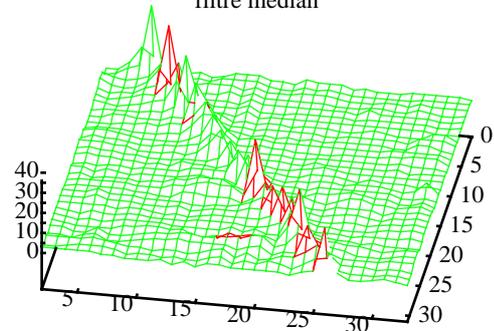
Nous constatons des distorsions spatiales sur le contour et autour de celui-ci.

Fig. 11: carte des distances $L=H=10$, $P=1$
filtre adaptatif directionnel pondéré



Néanmoins, les résultats du tableau 1, montrent que les distorsions pour ce même filtre sont moins importantes sur l'axe des niveaux de gris ($L=H \gg P$, voir Fig. 2) comme le prouve la figure 11

Fig. 12: carte des distances $L=H=10$, $P=1$
filtre médian



Globalement, le filtre médian entraîne davantage de distorsions sur l'axe des niveaux de gris que le filtre adaptatif directionnel pondéré.

5- Conclusion

Nous introduisons un critère numérique pour l'évaluation quantitative des performances des filtres en traitement d'images. Contrairement au critère basé sur l'Erreur Quadratique Moyenne, ce nouveau critère prend en compte les informations statistique et géométrique contenues dans l'image. Cette étude permet de caractériser de manière quantitative l'effet des opérateurs de filtrage.

6- Références

- [1] A. J. Baddeley. "An error metric for binary images". *Robust Computer Vision*, Wichmann, Karlsruhe, pp 59-78, 1992.
- [2] G. Borgefors. "Distance transformations in arbitrary dimensions", *CVGIP*, vol. 27, pp 321-345, 1984.
- [3] D. Coquin, Ph. Bolon. "Discrete distance operator on rectangular grids" *Pattern Recognition Letters* 16, pp 911-923, 1995
- [4] D. Coquin, Ph. Bolon, Y. Chehadeh. "Opérateurs de distance 3D - Application à la comparaison d'images", *15^e colloque GRETSI*, pp 761-764, septembre 1995.
- [5] A. Rosenfeld, J. Pfaltz. "Sequential operations in digital picture processing" *Journal of the ACM* 13, pp 471-494, 1966
- [6] B. Verwer. "Local distances for distance transformations in two and three dimensions". *Pattern Recognition Letters* 12, pp 671-682, 1991.
- [7] O-K. Kwon, D-G Sim, R-H. Park, "New Hausdorff Distances based on robust statistics for comparing images", *IEEE International Conference on Image Processing*, pp 21-24, Switzerland, September, 1996.
- [8] I. Issa, Ph. Bolon, "Adaptive weighted $d\alpha$ filter", *Signal Processing VIII, Proc. EUSIPCO-96, Vol. III*, pp. 1921-1824, Italy, September, 1996.