

# Signature de la déformation entre deux images à niveaux de gris

Philippe BOLON, Didier COQUIN

Laboratoire d'Automatique et MicroInformatique Industrielle  
LAMII / CESALP - Université de Savoie - BP 806, 74016 Annecy Cedex, France  
(CNRS GdR ISIS)

Didier.Coquin@univ-savoie.fr, Philippe.Bolon@univ-savoie.fr

**Résumé** – Nous proposons une nouvelle méthode de caractérisation de la déformation entre deux images de même nature. Cette méthode est basée sur une mesure de dissimilarité entre images. La dissimilarité est calculée à partir de la distance de Baddeley et dépend d'un paramètre de réglage. La variation de la dissimilarité en fonction de ce paramètre fournit la signature de la déformation globale subie par l'image. L'analyse de la signature renseigne sur la nature de la déformation. L'analyse de l'histogramme de la différence des images de distances fournit les informations sur l'amplitude de la déformation

**Abstract** – In this paper, a new method aiming at characterizing the distortion between two grey level images is introduced. This method is based on the analysis of the difference of the distance transforms associated with the images. Distance transforms are computed by means of a local distance operator, the coefficients of which depend on a tuning parameter  $P/H$ . The curve of the distance between the two images as a function of  $P/H$  value can be regarded as a signature of the distortion between the images. Experimental results are given.

## 1 Introduction

Lorsque des images doivent être recodées ou, plus simplement, lorsque l'on souhaite compenser des distorsions affectant des images, il est souvent nécessaire de reconnaître le type de distorsion afin d'estimer les paramètres. Dans [1] la distance de Hausdorff est utilisée pour comparer des images, mais la comparaison est faite à partir de l'ensemble des points de contour de l'objet, donc sur une image binaire. Notre approche permet de traiter des images en niveaux de gris. Les méthodes basées sur l'erreur quadratique moyenne ne sont pas adaptées puisque ce critère dépend uniquement de la différence des niveaux de gris, ne prenant en compte l'information géométrique que via la fonction d'autocorrélation de l'image. Les méthodes basées sur le flux optique ne conviennent pas lorsque le déplacement est trop important ou lorsqu'il y a des fortes variations de luminosité d'une image à l'autre. Les méthodes basées sur l'intercorrélation numérique entre images à niveaux de gris sont quant à elles performantes du point de vue géométrique mais sont biaisées par les variations de niveaux de gris. Elles nécessitent la connaissance de la taille du motif ayant subi une déformation et sont, de ce fait, sensibles aux effets de bords.

Nous proposons ici une nouvelle méthode basée sur une mesure de dissimilarité entre images. La dissimilarité est calculée à partir de la distance de Baddeley entre deux ensembles binaires, dont nous rappelons le principe dans la section 2. La distance de Baddeley nécessite l'utilisation d'une distance dans un espace discret. Nous utilisons un opérateur local de distance 3D [2] dépendant des dimensions  $L, H$  et  $P$  caractérisant le voxel.  $P$  correspond au pas de quantification de l'intensité et  $L, H$  correspondent

à la dimension du pixel (Fig. 1). La variation de la mesure de dissimilarité en fonction du rapport du  $P/H$  fournit une signature, que nous étudions dans la section 3. L'analyse de l'histogramme de la différence des images de distances fournit des informations sur l'amplitude de la déformation. Cette partie est développée dans la section 4 et des exemples sur des images réelles sont montrés.

## 2 La distance de Baddeley

Pour évaluer la dissimilarité entre une image de référence  $A$  et cette même image ayant subi une transformation, que nous noterons  $B$ , nous utilisons la distance de Baddeley [2, 5], notée dans la suite  $D(A, B)$ .

### 2.1 Principe

Soit  $S \in \mathbb{Z}^2$  le domaine sur lequel les images sont définies. Soit  $G = \{0, 1, 2, \dots, 255\}$  l'ensemble des niveaux de gris. Le principe de calcul de  $D(A, B)$  est mentionné dans [2] ainsi que son implémentation. Rappelons simplement que la distance de Baddeley [3] entre  $A$  et  $B$  est définie par :

$$D(A, B) = \frac{1}{\text{card}(G) \cdot \text{card}(S)} \sum_{s \in S} \sum_{g \in G} |d_A(s, g) - d_B(s, g)|^E]^{\frac{1}{E}} \quad (1)$$

où  $s = (x, y)$  est un pixel du support  $S$   
 $E$  est un réel supérieur à 1 (on prend généralement  $E = 2$ )  
 $d_A(s, g)$  est la distance entre le voxel  $v = (s, g)$  et la surface de référence (ensemble binaire caractérisant l'image  $A \{(s, g), A(s) = g\}$ ).

Nous pouvons remarquer que la distance  $D(A, B)$  est un critère global, qui ne dépend pas seulement des caractéristiques des 2 images  $A$  et  $B$ . En effet  $D(A, B)$  dépend également du nombre de niveaux de gris  $card(G)$  sur lequel elle est calculée.

Pour faciliter la comparaison, on utilise la distance normalisée définie par :

$$D_N(A, B) = \frac{D(A, B)}{D(\text{Blanc}, \text{Noir})} \quad (2)$$

où  $D(\text{Blanc}, \text{Noir})$  est la dissimilarité entre une image de niveau de gris 255 (Blanc) et une image de niveau de gris 0 (Noir).

## 2.2 Implémentation

Afin de réduire le temps de calcul, les distances  $d_A(s, g)$  et  $d_B(s, g)$  sont obtenues par un opérateur local de distance 3D en maillage parallélépipédique [2].

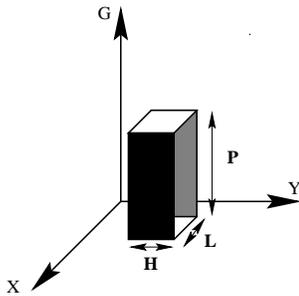


FIG. 1: Paramètre caractérisant le voxel

Ce maillage tient compte des dimensions  $L, H$  et  $P$  qui caractérisent le voxel (Fig. 1).

Nous utilisons une transformation de distance qui permet d'avoir rapidement une image de distance 3D, composée d'iso-surfaces constituées de points qui sont à une distance égale de la surface de référence [4]. 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.

TAB. 1: Distances élémentaires en fonction de  $P/H$ .

| $P/H$ | $D_{100}$ | $D_{110}$ | $D_{001}$ | $D_{011}$ | $D_{111}$ |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0.1   | 141       | 199       | 14        | 142       | 200       |
| 0.5   | 30        | 43        | 15        | 34        | 46        |
| 1     | 16        | 23        | 16        | 23        | 28        |
| 2     | 15        | 22        | 31        | 35        | 38        |
| 3     | 15        | 21        | 45        | 48        | 50        |
| 4     | 15        | 21        | 59        | 61        | 63        |
| 5     | 15        | 21        | 73        | 75        | 76        |

Dans [5] nous avons étudié le comportement de la dissimilarité  $D$  vis-à-vis de différentes déformations que peut subir une image, comme (i) une augmentation du niveau de gris moyen de l'image, (ii) un déplacement spatial de l'objet, (iii) la combinaison de ces deux déformations (i) + (ii). Nous avons montré que la dissimilarité  $D$  a un comportement linéaire par rapport à l'amplitude de chacune de ces déformations, et ce pour une plage de variation relativement large.

Nous donnons la valeur des distances élémentaires  $D_{ijk}$  qui seront utilisées lors du calcul des signatures (Tab. 1) pour différentes valeurs du rapport  $P/H$ . Les distances sont calculées pour un coefficient de normalisation  $N = 17$ .

## 3 Etude de la signature

Dans la section 1, nous avons mentionné que l'opérateur local de distance 3D dépendait des paramètres liés aux dimensions  $L, H$  et  $P$  du voxel. L'allure de la variation de  $D$  par rapport au paramètre  $P/H$  peut être considérée comme la signature de la déformation entre les 2 images. Nous nous limitons ici à des déformations simples telles que la translation spatiale et l'augmentation du niveau de gris moyen de l'image.

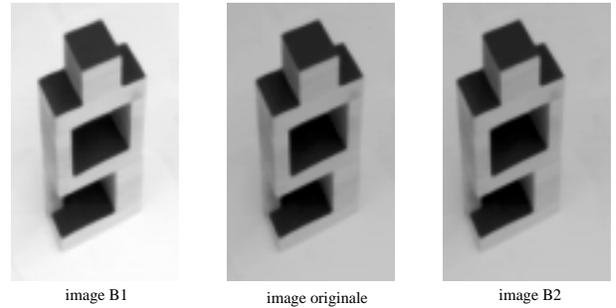


FIG. 2: Image de référence et images ayant subi des déformations

La figure 2 montre l'image de référence A et 2 images déformées B1 et B2 correspondant respectivement à une augmentation du niveau de gris (+20) et un déplacement horizontal vers la gauche de 12 pixels. Les figures 3 et 5 montrent les signatures des déformations. L'image originale est issue de la base élaborée par P. Gros [6].

La figure 3 correspond à une augmentation du niveau de gris moyen de l'image A (+10, +20 ou +30).

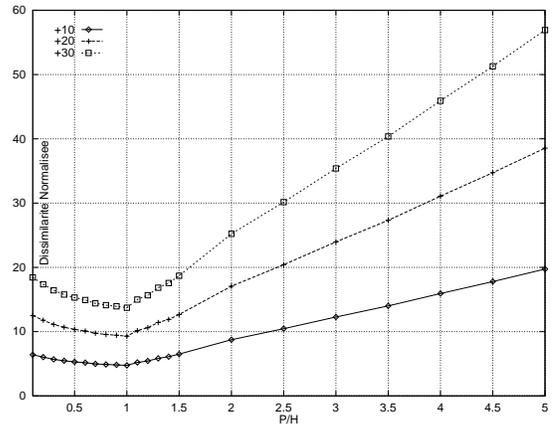


FIG. 3: Signature d'une variation du niveau de gris moyen

La signature de la distance normalisée est une courbe en forme de L inversé (Fig. 3). Pour les valeurs faibles de  $P/H$ , la distance  $D_N$  tend vers la valeur efficace de la différence entre les 2 images (RMS) [5]. Inversement, pour  $P/H$  élevé, la distance normalisée augmente linéairement avec  $P/H$ . En effet, pour la plupart des voxels, la différence des distances est égale à la variation d'intensité (notée  $h$

en Fig. 4 dont le poids est proportionnel à  $P$ .

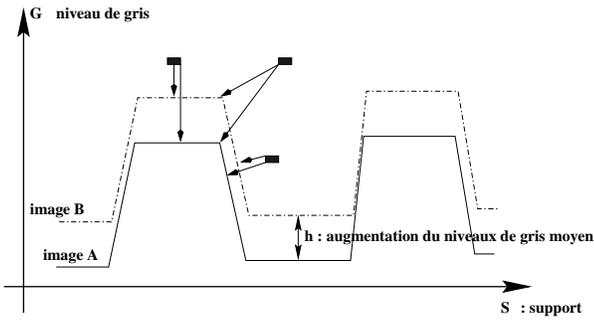


FIG. 4: Variation d'intensité entre 2 images

La figure 5 correspond à un déplacement spatial horizontal de l'objet de 5 et de 10 pixels. Une translation se traduit par une signature en forme de L (Fig. 5).

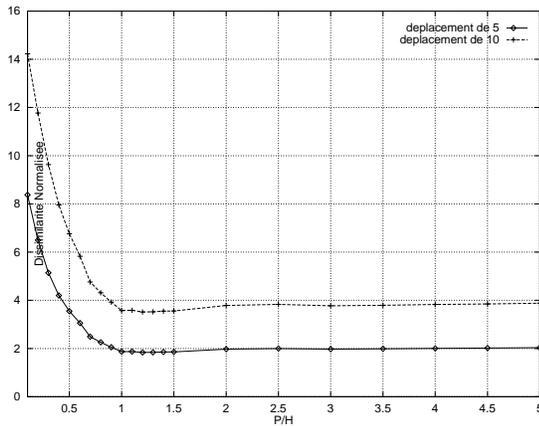


FIG. 5: Signature d'un déplacement spatial

Pour un rapport  $P/H$  supérieur à 1, les courbes de dissimilarité sont pratiquement constantes. En effet, pour les fortes valeurs de  $P/H$ , la distance entre un voxel et les surfaces de référence correspondent au plus court chemin horizontal (Fig. 6) [5]. La différence des distances aux surfaces A et B tend alors vers l'amplitude du déplacement spatial  $d$  entre les courbes. Ce résultat reste valable si le contraste de l'objet est supérieur à l'amplitude du déplacement.

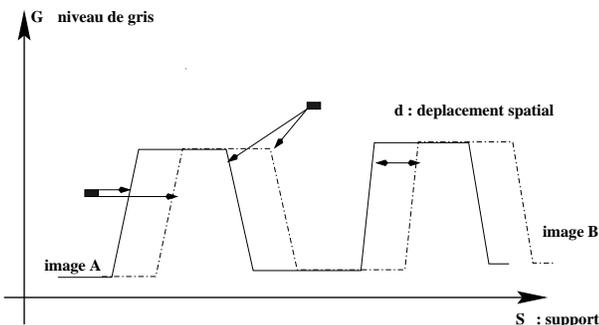


FIG. 6: Déplacement spatial entre 2 images

La figure 7 montre les signatures correspondant à la combinaison des deux types précédents de déformations.

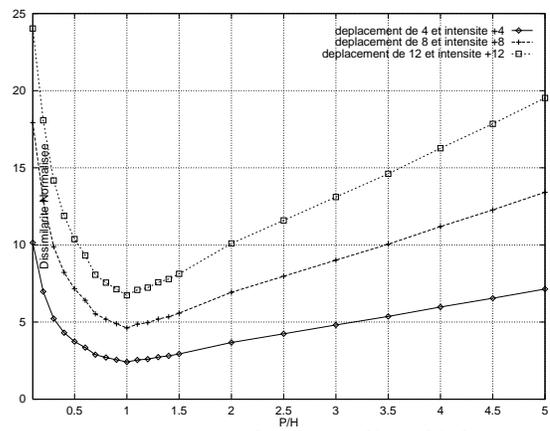


FIG. 7: Signature de la combinaison d'un déplacement et d'une augmentation de niveaux de gris

La combinaison d'une variation de niveaux de gris et d'un déplacement horizontal se traduit par une signature en forme de V (Fig. 7). Ceci est dû au comportement linéaire de l'opérateur de distance entre images, étudié dans [5]. Il est à noter qu'un comportement similaire est obtenu pour des images de nature très différentes (scènes d'extérieur, objets polyédriques, ...).

## 4 Estimation des paramètres de la déformation

L'analyse de l'histogramme de la différence des images de distances  $|d_A(s, g) - d_B(s, g)|$  fournit des informations sur l'amplitude de la déformation.

La figure 8 présente l'histogramme de la différence des images de distances lors d'une variation d'intensité.

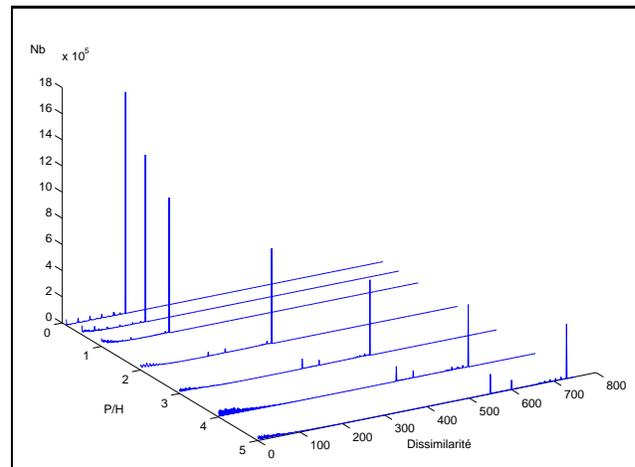


FIG. 8: Histogramme des distances pour une variation d'intensité

Pour les valeurs faibles de  $P/H$ , la distance entre un voxel et la surface de référence tend vers la différence des niveaux de gris. Donc on retrouve dans l'histogramme, un pic dominant correspondant à l'amplitude de la variation d'intensité. Quand  $P/H$  augmente, les trajets optimaux entre voxels et surface de références tendent à devenir horizontaux. Il y a donc dispersion de la différence des distances, essentiellement fonction de la forme de l'objet.

La figure 9 présente l'histogramme de la différence des images de distance lors d'un déplacement horizontal. Pour  $P/H$  faible, il y a une faible dispersion liée au contraste d'intensité à l'intérieur de l'objet. Pour  $P/H$  fort, on retrouve pour les mêmes raisons que ci-dessus, un pic dominant correspondant à l'amplitude du déplacement.

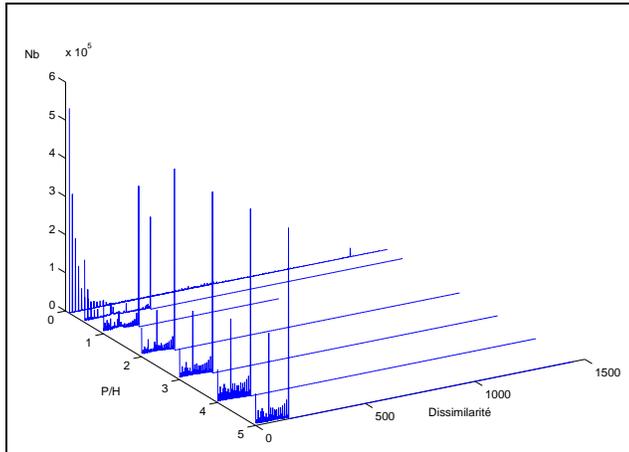


FIG. 9: Histogramme des distances pour un déplacement horizontal

La figure 10 correspond à la combinaison des 2 types de déformations.

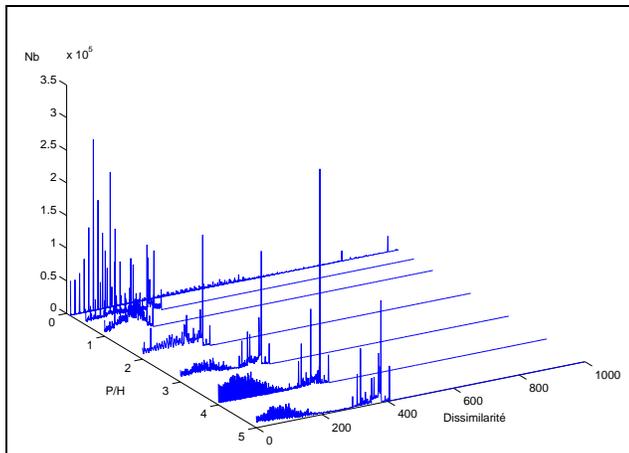


FIG. 10: Histogramme des distances pour un déplacement horizontal combiné à une augmentation du niveau de gris

La figure 10 présente l'histogramme de la différence des images de distance lors de la combinaison des 2 types de déformations. Pour  $P/H$  faible, on retrouve un pic correspondant à la variation d'intensité à condition que les variations d'intensité de l'objet soient suffisamment basses fréquences. Pour  $P/H$  élevé, le pic significatif le plus éloigné de l'origine correspond à la combinaison du déplacement spatial et de la variation d'intensité.

La figure 12 présente l'histogramme de la différence des images de distances pour les deux images de la figure 11. Lorsque les deux images sont totalement différentes, c'est à dire que la deuxième ne résulte pas d'une déformation simple de la première (Fig. 11), l'histogramme des différences de distances est très dispersé et ne présente pas de pics caractéristiques.

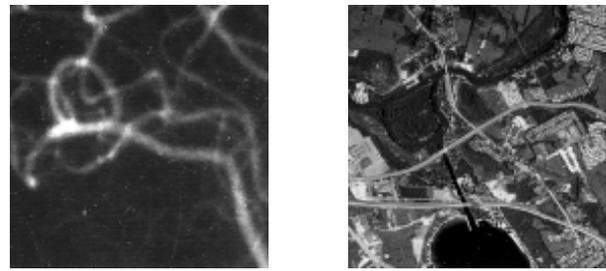


FIG. 11: a) angiographie et b) vue aérienne

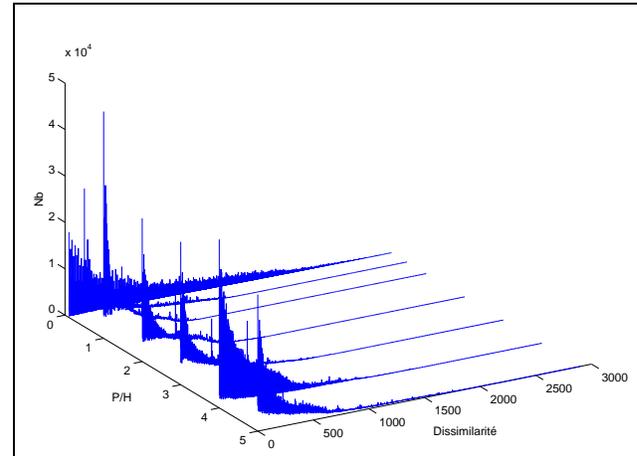


FIG. 12: Histogramme des distances pour deux images différentes

## 5 Conclusion

Nous proposons une nouvelle méthode qui permet de caractériser, par leur signature, différentes déformations que peut subir une image en niveaux de gris. L'analyse de l'histogramme de la différence des images de distances fournit des informations sur l'amplitude de la déformation, tant en niveau de gris qu'en déplacement spatial de l'image. Par rapport aux méthodes de corrélation, cette nouvelle technique est moins perturbée par les variations d'intensité et s'avère moins limitée par la taille des fenêtres ou l'amplitude des vecteurs déplacements.

## Références

- [1] 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.
- [2] D. Coquin, Ph. Bolon, Y. Chehadeh. *Evaluation quantitative d'image filtrées*. 16<sup>ème</sup> colloque GRETSI, pp. 1351-1354, Grenoble, Septembre 1997.
- [3] A.J. Baddeley. *An error metric for binary images*. Robust Computer Vision, Wichmann, Karlsruhe, pp. 59-78, 1992.
- [4] G. Borgefors. *Distance Transformations in arbitrary dimensions*. CVGIP, vol. 27, pp. 321-345, 1984.
- [5] D. Coquin, Ph. Bolon. *Applications of Baddeley's distance to dissimilarity measurement between gray scale images*. Pattern Recognition Letters, (à paraître).
- [6] *Images disponibles sur le site : <http://www.inrialpes.fr/movi/pub/Images/index.html>*