

# Descripteurs de Fourier Affines à partir d'une signature progressive de formes contours plans

Taha FAIDI, Faten CHAIEB, Faouzi GHORBEL

<sup>1</sup>Laboratoire Cristal, Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique, Université de La Manouba

<sup>2</sup>Le Centre d'Études et de Recherche des Télécommunications (CERT), Parc Technologique, EL GHAZALA, Ariana  
taha.faidi@ensi-uma.tn faten.chaieb@ensi.rnu.tn faouzi.ghorbel@ensi.rnu.tn

**Résumé** – Dans cet article, un nouveau descripteur de formes contours plans est proposé. Il est basé sur une représentation multi-résolution du contour initial. Une signature de forme est définie pour chaque résolution à partir des points et du centre de gravité du contour initial et des points du contour à la résolution correspondante. Enfin, le descripteur de Fourier de chaque signature est calculé. L'ensemble des descripteurs de Fourier des signatures des différentes résolutions du contour correspond au descripteur de forme proposé, noté *DF-SAP*. Ce descripteur est invariant aux transformations affines. Les expérimentations réalisées sur différentes bases de contours montrent les propriétés du descripteur. Une comparaison avec le descripteur de Fourier, le descripteur affine AIFD proposé dans [4] et le descripteur de courbure multi-échelle (CSS) est présentée. Les résultats obtenus montrent les bonnes performances du descripteur proposé.

**Abstract** – In this paper, a new affine invariant shape descriptor for planar contours is proposed. It is based on a multi-resolution representation of the initial contour. For each contour resolution, a shape signature is defined from the contour points and the initial contour centroid and points. Finally, Fourier descriptors are computed for each signature. The proposed descriptor is invariant to affine transformations. Our proposal is tested on well known contour databases. Comparisons to Fourier Descriptors (DF), Curvature Scale Space (CSS) descriptors and the Affine Invariant Fourier Descriptor proposed in [4] show that our descriptor performs well.

## 1 Introduction

La description de formes est une phase essentielle pour de nombreuses applications de vision par ordinateur telles que la recherche d'images par le contenu, l'estimation de la pose, la détection et le suivi de cible, la reconnaissance de formes, etc. Le défi majeur est de construire une représentation pertinente de forme qui soit compacte, traduisant le contenu sémantique des images et invariante par rapport au point de vue qui est souvent modélisé par une classe de transformations géométriques telles que les déplacements euclidiens, les affinités et les projectives. Dans ce contexte, la norme MPEG-7 a précisé plusieurs critères pour l'évaluation d'un descripteur de forme à savoir : une bonne précision de recherche, compacité du descripteur, application générale, faible complexité de calcul, robustesse au bruit et une représentation multi-résolution.

Les descripteurs de formes développés dans la littérature peuvent être divisés en deux grandes classes : les descripteurs basés région et les descripteurs basés contour [10]. On peut citer le descripteur ART (retenu dans la norme MPEG-7) [3], les moments géométriques [7], les moments de Zernike [8] et les moments pseudo-Zernike [5] comme descripteurs performants comme descripteurs de formes performants basés région. Les descripteurs basés contours incluent les descripteurs de Fourier FD [9] qui ont été largement utilisés et les représentations multi-échelles CSS [1, 2] qui ont été adoptés par la norme MPEG-7 pour la description des formes contours. Il est important de noter que la plupart des méthodes basées contour extraient les informations à partir de la frontière de la forme uniquement et ignorent les informations contenues dans la région de forme.

Par ailleurs, outre les problèmes d'invariance aux transformations géométriques, les descripteurs de formes contours souffrent de leur dépendance vis à vis du paramétrage. En effet, la forme contour est souvent représentée par une courbe paramétrique. Ainsi, un contour pourra être représenté par différentes paramétrisations. Il a été prouvé que le procédé de reparamétrage est dans ce cas une solution à ce problème. Son type dépend de la nature de l'in-

variance souhaitée.

Dans ce travail, nous considérons le cas de formes contours plans, simples et fermés subissant des transformations affines et nous proposons un nouveau descripteur multi-résolution, invariant aux transformations affines et isotrope vis à vis au paramétrage.

Le papier sera organisé comme suit : Dans la section 2, nous rappelons le procédé de reparamétrage équiaffine souvent appliqué pour vérifier la propriété d'invariance à la représentation initiale. Une description du descripteur proposé sera présentée dans la section 3. Les résultats expérimentaux et les comparaisons de performance sont détaillés dans la section 4. Enfin, la conclusion et les perspectives sont données dans le paragraphe 4.

## 2 Reparamétrage équiaffine

En traitement et analyse d'images, les formes contours plan sont souvent représentées par des courbes paramétriques simples et fermées. Une paramétrisation  $\gamma(t)$  d'une courbe plane  $\Gamma$  est une fonction 1-periodique de paramètre  $t$  définie par :

$$\begin{aligned} \gamma : [0, 1] &\longrightarrow \mathbb{R}^2 \\ t &\longmapsto \gamma(t) = [x(t), y(t)]^t. \end{aligned} \quad (1)$$

Un reparamétrage d'une courbe  $\gamma$ , notée  $(\gamma(\tilde{t}))$ , est défini par :

$$\gamma(\tilde{t}) = \gamma(\tau(t)) = [x(\tau(t)), y(\tau(t))]^t, \quad t \in [0, 1]. \quad (2)$$

où  $\tau$  une fonction strictement croissante définie sur  $[0, 1]$ .

Il est bien connu qu'une courbe peut avoir plusieurs paramétrisations possibles. Un procédé de reparamétrage qui permettra d'associer une reparamétrisation unique à la courbe au sens de l'invariance par rapport au groupe de transformations considéré  $\mathbf{G}$  est appelé reparamétrage  $\mathbf{G}$ -invariant. Dans ce cas la fonction croissante  $\varphi$  correspond à une longueur d'arc invariante par rapport au groupe des transformations géométriques considéré.

Soient  $\gamma_1(t_1)$  et  $\gamma_2(t_2)$  respectivement deux paramétrisations d'une courbe  $\Gamma$  et de son image  $g\circ\Gamma$  par une transformation  $g \in \mathbf{G}$

où  $\mathbf{G}$  est le groupe des transformations géométriques. Il existe  $l_0 \in \mathbb{R}/2\pi\mathbb{Z}$  tel que :

$$\gamma_2(l) = g(\gamma_1(s + l_0)), \quad g \in G. \quad (3)$$

avec  $l$  et  $s$  les longueurs  $\mathbf{G}$ -invariantes normalisées.

Dans le cas des transformations affines, nous considérons le reparamétrage par l'abscisse affine normalisée qui est définie par :

$$\bar{s}_a(t) = \frac{1}{L_a} \int_0^t (|\det(\gamma'(t), \gamma''(t))|)^{\frac{1}{3}} dt, \quad t \in [0, T]. \quad (4)$$

où  $L_a$  est la longueur affine de la courbe.

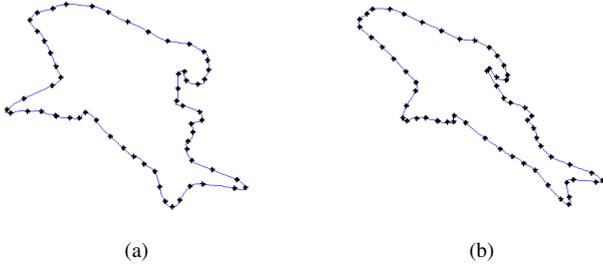


FIGURE 1 – Reparamétrage équiaffine d'un contour (a) et son image par une affinité (b).

### 3 Descripteur proposé

La figure 3, montre les différentes étapes de la construction du descripteur proposé appelé Descripteurs de Fourier d'une Signature Affine et Progressive et noté *DF-SAP*. Tout d'abord, le contour est normalisé par rapport au centre de gravité c.-à-d. l'origine du repère est placé au centre de gravité du contour. Ensuite, un reparamétrage équiaffine est appliqué afin de garantir l'invariance à la représentation (voir section 2). La troisième étape consiste à construire une représentation multi-résolution du contour, appelée contour progressif. Pour chaque résolution du contour, une signature de forme faisant intervenir les points du contour initial (résolution 0) et les points de la résolution en cours est calculée. Enfin, chaque signature est décrite par les descripteurs de Fourier.

#### 3.1 Contour progressif

Dans le cas discret, le contour est représenté par un ensemble de points ordonnés  $\Gamma = \{m_i = (x_i, y_i)\}_{i=1 \dots N_a}$  où  $N_a$  est le nombre de points du contour après reparamétrage équiaffine. Par analogie à la notion de maillage progressif proposé dans [6], nous définissons un contour progressif comme étant l'ensemble des résolutions du contour et les opérations élémentaires permettant de passer d'une résolution à une autre. L'opération de simplification élémentaire *MilieuArc* adoptée est celle qui remplace deux points consécutifs du contour par leur milieu :

$$\text{MilieuArc}(m_i, m_{i+1}) = \frac{m_i + m_{i+1}}{2}.$$

Ainsi, un contour de résolution  $k$  noté  $\Gamma^{(k)}$  est généré à partir du contour de résolution  $k - 1$  comme suit :

$$\begin{cases} \Gamma^{(0)} &= \Gamma \\ \Gamma^{(k)} &= \{\text{MilieuArc}(m_i^{(k-1)}, m_{i+1}^{(k-1)})\}_{i=1 \dots N_a-1} \cup \{\text{MilieuArc}(m_{N_a}^{(k-1)}, m_1^{(k-1)})\} \end{cases}, \quad (5)$$

La figure 3.1 montre un contour à différentes résolutions.

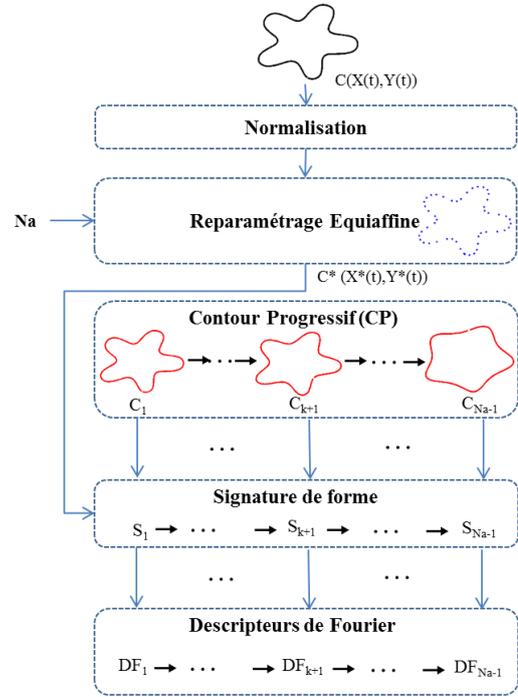


FIGURE 2 – Schéma synoptique du descripteur proposé.

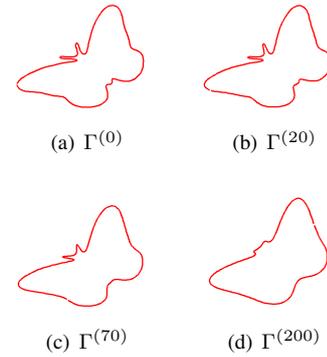


FIGURE 3 – Exemple d'un contour progressif.

Il est important de noter que l'utilisation des milieu permet de conserver la transformation affine entre les différentes résolutions

#### 3.2 Signature de forme

La signature d'un contour  $\Gamma^{(k)}$  de résolution  $k$ , notée  $S^{(k)}(t)$  est définie à partir des points de  $\Gamma^{(k)}$  et  $\Gamma^{(0)}$ . Elle représente l'aire du triangle formé par le point  $m^{(0)}(t) = (x^{(0)}(t), y^{(0)}(t))$  de  $\Gamma^{(0)}$ , le point  $m^{(k)}(t) = (x^{(k)}(t), y^{(k)}(t))$  de  $\Gamma^{(k)}$  et le centre de gravité  $G$  du contour initial (voir figure 3.2). Elle est donnée par :

$$S^{(k)}(t) = \frac{|x^{(0)}(t) y^{(k)}(t) - y^{(0)}(t) x^{(k)}(t)|}{2} \quad (6)$$

#### 3.3 Descripteur de Fourier

Etant une fonction périodique à support compact, la signature  $S^{(k)}(t)$  du contour de résolution  $k$ , est développable en série de Fourier. La transformée de Fourier discrète de  $S^{(k)}(t)$  est donnée par :

$$a_n^{(k)} = \frac{1}{N_a} \sum_{t=0}^{N_a-1} S^{(k)}(t) \exp\left(-\frac{j2\pi nt}{N_a}\right), \quad n = 0, \dots, N_a - 1$$

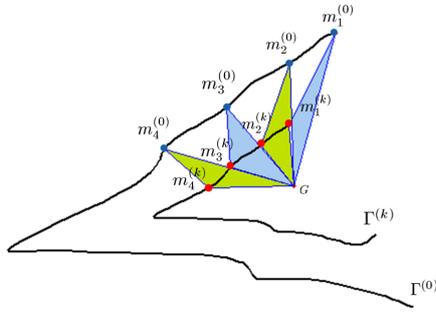


FIGURE 4 – Signature de forme.

Le Descripteur de Fourier de la signature  $S^{(k)}$  est alors donné par :

$$DF^{(k)} = DF^{(k)}(S^{(k)}) = \left\{ \frac{|a_n^{(k)}|}{|a_0^{(k)}|} \right\}_{n=1 \dots p}, \quad (7)$$

où  $p$  est le nombre de coefficients de Fourier considérés. Ainsi, le descripteur  $DF-SAP$  proposé est donné par la famille  $\{J_k\}_{k=1 \dots N}$  suivante :

$$\{J_k\}_{k=1 \dots N} = \{DF^{(k)}\}_{k=1 \dots N}, \quad (8)$$

où  $N$  est le nombre de résolutions.

Afin de montrer la propriété d'invariance du descripteur proposé, nous considérons deux contours  $\Gamma_1$  et  $\Gamma_2$  dont l'un est l'image de l'autre par une transformation affine caractérisée par sa matrice  $A$ . Soit  $\Gamma_2 = A\Gamma_1$ . On vérifie bien que  $S_2^{(k)}(t) = \det(A) S_1^{(k)}(t)$ . Ainsi, la transformation affine appliquée à un contour est traduite par un changement d'échelle entre leur signatures. Le Descripteur de Fourier de la signature permet d'assurer l'invariance au facteur d'échelle. Par conséquent le descripteur proposé est invariant aux affinités. De plus, l'utilisation du descripteur de Fourier permet de garantir l'invariance au point de départ.

### 3.4 Mesure de similarité

Soient  $J_1$  et  $J_2$  deux descripteurs associés à deux contours  $\Gamma_1$  et  $\Gamma_2$ . La mesure de similarité adoptée pour comparer ces deux contours est donnée par :

$$d(\Gamma_1, \Gamma_2) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{\|J_{1k} - J_{2k}\|_2}{\max(\|J_{1k}\|_2, \|J_{2k}\|_2)} \quad (9)$$

où  $N$  est le nombre de résolutions du contour progressif et  $\|\cdot\|_2$  est la norme  $L_2$ .

## 4 Résultats expérimentaux

Nos expérimentations ont été réalisées en utilisant deux bases de test. La première base est la base de formes contour de MPEG-7 conçue pour évaluer les performances des descripteurs de formes vis à vis des différentes distorsions de formes. La base est composée de trois parties A, B et C. La partie A est subdivisée en deux sous parties A1 et A2 composée chacune de 420 formes réparties en 70 classes et permettent de tester respectivement l'invariance des descripteurs au changement d'échelle et à la rotation. La partie B est composée de 1400 formes réparties en 70 classes et conçue pour évaluer la robustesse des descripteurs à différentes distorsions arbitraires de formes.

La deuxième base est la base MCD (*Multiview Curve dataset*) [11] qui a été construite à partir de la base MPEG-7 pour modéliser des transformations affines réelles. Elle est composée de 40 objets sélectionnés à partir de la base MPEG-7 et imprimés sur papier blanc sous forme d'images binaires. Ensuite, pour chaque objet,

14 formes sont déduites à partir d'acquisitions prises de différents points de vues.

Pour évaluer et comparer notre descripteur dans un contexte de recherche par le contenu, nous avons utilisé les mesures de performances rappel et précision. La précision  $P$  mesure le nombre de formes correctement reconnus par rapport au nombre total de formes reconnues. Le rappel mesure le nombre de formes correctement reconnus par rapport au nombre de formes existant dans cette classe.

Dans la figure ??, un résultat de recherche pour 10 requêtes aléatoires à partir de la base MCD en utilisant notre descripteur est montré. Les huit premières réponses sont correctes pour les 10 requêtes. Des réponses fausses à partir du rang 9 ont été obtenues pour uniquement trois requêtes.

Nous proposons de comparer notre descripteur (DF-ASP) au descripteur de Fourier (DF) [9], au descripteur de courbure multi-échelle (CSS) [2] et sa variante qui le combine avec des descripteurs de formes globaux pour remédier à sa sensibilité vis à vis aux variations locales (CSS+) et au descripteur de Fourier invariant aux transformations affines (AIFD) [4].

Les figures 6, 7 et 8 montrent les courbes de rappel et de précision moyenne sur les parties A1, A2 et B de la base MPEG-7 en utilisant les différents descripteurs cités ci-dessus. Notre descripteur présente de meilleurs résultats que le DF, les descripteurs CSS et CSS+ et le AIFD sur les deux sous bases A1 et A2 de MPEG-7 conçues respectivement pour évaluer l'invariance au changement d'échelle et aux rotations.

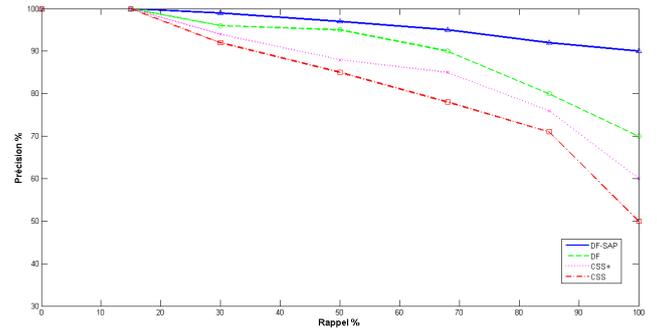


FIGURE 6 – Courbes de Rappel/Précision moyenne sur la partie A1 de la base MPEG-7

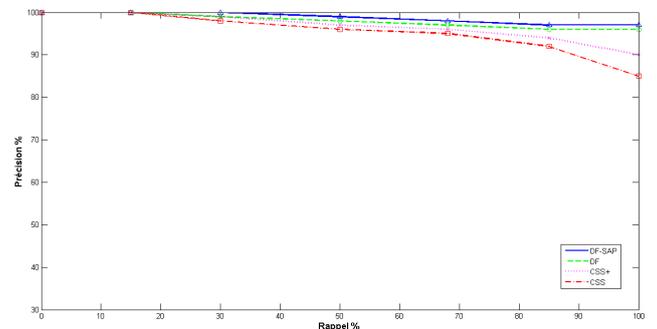


FIGURE 7 – Courbes de Rappel/Précision moyenne sur la partie A2 de la base MPEG-7

En ce qui concerne la robustesse aux distorsions arbitraires des formes décrites par la base B, le descripteur proposé présente des résultats meilleurs que le CSS, CSS+ et le AIFD. Il offre une meilleure précision de recherche que le DF pour les 7 premières

FIGURE 5 – Résultat de recherche pour 10 requêtes aléatoires de la base MCD.

Requête	Résultats de recherche
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	

réponses. Le DF fournit une meilleure précision à partir de la neuvième réponse.

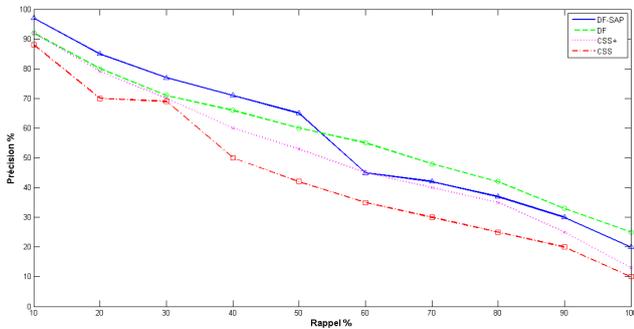


FIGURE 8 – Courbes de Rappel/Précision moyenne sur la partie B de la base MPEG-7

La figure 9 montre les courbes de rappel et précision moyenne calculés sur la base MCD pour les descripteurs CSS et AIFD. Le descripteur  $DF - SAP$  proposé est plus performant.

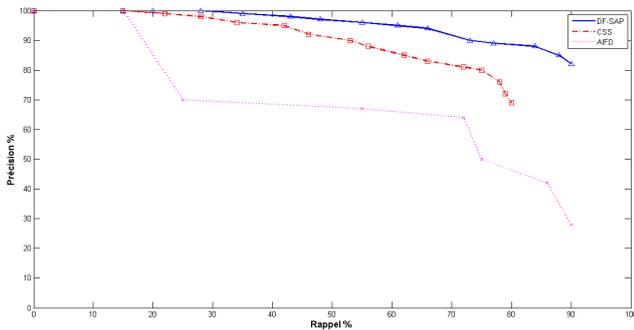


FIGURE 9 – Courbes de Rappel/Précision moyenne sur la base MCD

## 5 Conclusion

Dans ce papier, nous avons proposé un nouveau descripteur multi-résolution invariant aux transformations affines. Ce descripteur a été validé et testé sur deux bases de test à savoir MPEG-7 et MCD.

Il a été comparé à plusieurs descripteurs développés dans la littérature. Les résultats obtenus montrent les bonnes performances, en terme de rappel et précision du descripteur proposé. Par ailleurs, contrairement au descripteur AIFD, notre descripteur n'est pas complet ou inversible. En effet, la forme ne pourra pas être déduite à partir de son descripteur. Dans nos futures travaux nous proposons de déduire une famille de descripteurs complète à partir du descripteur proposé et d'étudier l'impact sur la précision de la recherche.

## Reconnaissance

Ce travail de recherche est effectué dans le cadre d'une thèse MOBIDOC financée par l'Union Européenne dans le cadre du programme PASRI en partenariat avec le Centre d'Etudes et de Recherche des Télécommunications (CERT)<sup>1</sup> et le laboratoire Cristal/ENSI.

## Références

- [1] S. Abbasi, F. Mokhtarian, and J. Kittler. Curvature scale space image in shape similarity retrieval. *Multimedia Syst.*, 7(6) :467–476, November 1999.
- [2] S. Abbasi, F. Mokhtarian, and J. Kittler. Enhancing css-based shape retrieval for objects with shallow concavities. *Image and Vision Computing*, 18(3) :199–211, 2000.
- [3] M. Bober. Mpeg-7 visual shape descriptors. *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, 11(6) :716–719, 2001.
- [4] F. Chaker, M.T. Bannour, and F. Ghorbel. A complete and stable set of affine-invariant fourier descriptors. In *Image Analysis and Processing, 2003.Proceedings. 12th International Conference on*, pages 578–581, Sept 2003.
- [5] Chee-Way Chong, P. Raveendran, and R. Mukundan. An efficient algorithm for fast computation of pseudo-zernike moments. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 17(06) :1011–1023, 2003.

1. <http://www.cert.nat.tn/>

- [6] H. Hoppe. Progressive meshes. In *Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '96, pages 99–108, 1996.
- [7] Ming-Kuei Hu. Visual pattern recognition by moment invariants. *Information Theory, IRE Transactions on*, 8(2) :179–187, February 1962.
- [8] Tsong-Wuu Lin and Yun-Feng Chou. A comparative study of zernike moments. In *Web Intelligence, 2003. WI 2003. Proceedings. IEEE/WIC International Conference on*, pages 516–519, Oct 2003.
- [9] D.S. Zhang and G. Lu. A comparative study of fourier descriptors for shape representation and retrieval. In *Proceedings of the Fifth Asian Conference on Computer Vision (ACCV02)*, pages 646–651, Melbourne, Australia, January 2002.
- [10] D.S. Zhang and G. Lu. Review of shape representation and description techniques. *Pattern Recognition*, 37(1) :1 – 19, 2004.
- [11] M. Zuliani, C. Kenney, S. Bhagavathy, and B. S. Manjunath. Drums and curve descriptors. In *In British Machine Vision Conference*, 2004.