

Estimation des Paramètres d'un Mouvement Affine Utilisant les Descripteurs de Fourier

Ahmed El oirrak¹, Mohamed Daoudi², Driss Aboutajdine¹, El houcin Bouyakhf¹, Faouzi Ghorbel³,

¹Faculté des sciences – LEESA-GSC, Rabat - Maroc
BP 1014

²ENIC/INT, Cité scientifique - Rue Guglielmo Marconi- Villeneuve d'Ascq cedex – France.

³ENSI, Centre des Etudes et Recherche en Télécommunications

42, rue Asdrubal 1002 Tunis, Tunisie

daoudi@enic.fr, faouzi.ghorbel@cert.mincom.tn (aboutaj, bouyakhf)@fsr.ac.ma

Résumé – Dans cette communication nous présentons un algorithme d'estimation de mouvement affine. Cet algorithme est capable d'estimer non seulement la translation, la rotation mais aussi les étirements. Nous utilisons la longueur affine pour la normalisation du profil extérieur d'un objet en mouvement. Ce profil sera ensuite décrit par les Descripteurs de Fourier (DF) correspondants. Une telle description permet dans un premier temps la définition d'une erreur entre DFs de deux objets en mouvement liés par une affinité, ensuite l'estimation de cette affinité par minimisation de cette erreur.

Abstract – An affine motion estimation algorithm is presented. This algorithm is able to estimate the stretching parameters in addition to the translation and rotation ones. We are using the arc length normalisation and the Fourier descriptors to represent the objects. The definition and the minimisation of an error function between the Fourier descriptors lead to the estimation of the optimal affinity parameters.

1. Introduction

L'estimation de mouvement joue un rôle important dans beaucoup d'applications telles que l'analyse et le codage d'images [1], [2]. La représentation de données par blocs de pixels de taille fixe utilisée dans les schémas de codage normalisés de type MPEG1 ou MPEG2 n'obéissent à aucun modèle perceptuel orienté objet, malgré les multiples améliorations apportés à ce schéma, comme l'utilisation de tailles de bloc adaptatives et de modèle de mouvement hiérarchiques [3]. L'approche orienté objet décrit la scène en termes de régions homogènes et frontières associées de telle manière que les régions ainsi définies correspondent aux objets physiques dans la scène.

Dans cette communication, nous proposons une nouvelle méthode d'estimation de mouvement affine global de ces régions à partir du mouvement de leur profil extérieur. La description des contours des objets est faite par les Descripteurs de Fourier (DFs). La suite du papier est organisée de la manière suivante :

Dans la section 2, nous allons décrire le modèle de mouvement considéré dans ce travail. Ce modèle prend en compte les régions qui ont un mouvement affine (translation, rotation, étirement, et facteur d'échelle).

L'estimation des paramètres de mouvement affine sera présentée dans la section 3.

Enfin, la dernière partie est consacrée aux applications sur la séquence vidéophonique Claire.

2. Paramétrisation, normalisation et représentation

Examinons l'action du groupe Spécial Affine SA(2) sur l'espace des formes. Le groupe SA(2) est le produit cartésien $\mathbb{R}^2 \times SL(2)$ où SL(2), sous groupe du groupe SA(2), représente les transformations linéaires.

Afin d'estimer les paramètres de mouvement entre deux formes nous allons introduire quelques définitions.

Définition 1 : Deux objets O_1 et O_2 ont la même forme à une transformation affine près si et seulement si il existe α , A et B tels que :

$$X_2(l) = \alpha \cdot A \cdot X_1(l + l_0) + B$$

où X_1 et X_2 sont respectivement les paramétrisations affines de O_1 et O_2 .

En appliquant le théorème du retard on obtient:

$$Z_2(k) = \alpha e^{2\pi i k l_0} A Z_1(k) + B \delta_k \text{ pour tout } k$$

où $Z_1(k)$ et $Z_2(k)$ représentent les DFs de X_1 et X_2 et δ_k le symbole de Kronecker défini par :

$$\delta_k = \begin{cases} 1 & \text{si } k = M \\ 0 & \text{sin on} \end{cases}$$

Nous avons choisi de définir la transformation affine A comme le produit d'une matrice de rotation R (2×2) et une matrice d'étirement S (2×2)

$$A = R.S \quad (1)$$

$$\text{Avec } R = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} \quad S = \begin{pmatrix} a & b \\ 0 & 1/a \end{pmatrix}$$

En utilisant la définition (1) d'une transformation affine la relation liant les paramétrisations de deux contours X_1 , X_2 , ayant la même forme à une affinité près, peut être formulée par :

$$X_2(k) = (x_2(k), y_2(k)) = \begin{cases} \alpha \left(\cos(\theta)(ax_1(k+l_0) + by_1(k+l_0)) + \sin(\theta) \frac{y_1(k+l_0)}{a} \right) \\ \alpha \left(-\sin(\theta)(ax_1(k+l_0) + by_1(k+l_0)) + \cos(\theta) \frac{y_1(k+l_0)}{a} \right) \end{cases}$$

En développant en série de Fourier on obtient :

$$Z_2(k) = (u_2(k), v_2(k)) = \begin{cases} \alpha e^{jkl_0} \left(\cos(\theta)(au_1(k) + bv_1(k)) + \sin(\theta) \frac{v_1(k)}{a} \right) \\ \alpha e^{jkl_0} \left(-\sin(\theta)(au_1(k) + bv_1(k)) + \cos(\theta) \frac{v_1(k)}{a} \right) \end{cases}$$

où

$$Z_1(k) = u_1(k) + jv_1(k), \quad Z_2(k) = u_2(k) + jv_2(k)$$

En notation complexe $Z_2(k)$ peut s'écrire :

$$Z_2(k) = \alpha e^{j(kl_0 - \theta)} (au_1(k) + bv_1(k) + j \frac{1}{a} v_1(k))$$

Cette représentation est particulièrement utile car elle permet la description des formes et l'estimation des paramètres de mouvement.

3. Estimation des paramètres affine liant deux contours décrits par les DFs

Pour atteindre ce but nous allons définir une erreur de la manière suivante : Soient X_1 et X_2 deux objets réels, ayant pour DFs Z_1 et Z_2 , et \tilde{X}_2 l'objet obtenu par application d'une transformation affine à X_1 . Cette transformation est choisie de telle sorte que l'expression suivante, définies entre DFs de X_2 et \tilde{X}_2 soit minimales :

$$E(\theta, a, b) = \sum_{k=1}^M \left\| u_2(k) - \tilde{u}_2(k) \right\|^2 + \left\| v_2(k) - \tilde{v}_2(k) \right\|^2$$

où M est le nombre de points normalisé pour les deux objets, et \tilde{Z}_2 les descripteurs de Fourier de X_2 .

$$\tilde{Z}_2(k) = (\tilde{u}_2(k), \tilde{v}_2(k)) \begin{cases} \alpha e^{jkl_0} \left(\cos(\theta)(au_1(k) + bv_1(k)) + \sin(\theta) \frac{v_1(k)}{a} \right) \\ \alpha e^{jkl_0} \left(-\sin(\theta)(au_1(k) + bv_1(k)) + \cos(\theta) \frac{v_1(k)}{a} \right) \end{cases}$$

Soit en notation complexe : $\tilde{Z}_2(k) = \tilde{u}_2(k) + j\tilde{v}_2(k)$

Afin de déterminer les paramètres de la transformation affine nous devons minimiser l'erreur $E(\theta, a, b)$ en calculant les dérivées partielles par rapport aux paramètres l_0 , θ , a , b et α , et en les annulant. Mais les dérivées partielles par rapport à a , b et α sont difficilement exploitables. Nous allons introduire des équations qui permettent de calculer α et l_0 .

3.1 Calcul du facteur d'échelle α

Comme la transformée de Fourier est linéaire, en choisissant un coefficient d'indice k et en construisant la matrice 2×2 formée par les DFs, alors on aura l'égalité suivante :

$$\det(Z_2(k), Z_2^*(k)) = \alpha^2 \det(Z_1(k), Z_1^*(k))$$

Le facteur d'échelle est alors donné par :

$$\alpha^2 = \frac{\det(Z_2(k), Z_2^*(k))}{\det(Z_1(k), Z_1^*(k))} \quad \text{ou } Z^* \text{ désigne le conjugué de } Z.$$

3.2 Calcul du décalage l_0

Prenant les déterminants des deux matrices 2×2 formées par les DFs des deux formes en deux points d'indice k_1 et k_2 alors :

$$\det(M_1) = \alpha^2 e^{j(k_1+k_2)l_0} \det(A) \det(M_2) \quad \text{où}$$

$M_1 = (Z_1(k_1), Z_1(k_2))$, $M_2 = (Z_2(k_1), Z_2(k_2))$ représentent les deux matrices. Prenant l'argument de cette expression :

$$\arg(\det(M_1)) = (k_1 + k_2)l_0 + \arg(\det(M_2))$$

d'où le décalage est exprimé par :

$$l_0 = \frac{\arg(\det(M_1)) - \arg(\det(M_2))}{k_1 + k_2}$$

3.3 Estimation des paramètres d'étirements a, b et l'angle de rotation θ

Dans ce cas nous utilisons uniquement les dérivées partielles par rapport à l_0 et θ .

Nous aboutissons aux deux équations suivantes qui donnent la tangente de l'angle θ en fonction des autres paramètres :

$$\tan g(\theta) = \frac{\sum_{k=1}^M \alpha_k k a \sin(k l_0 - \psi_k) + \lambda_k k b \sin(k l_0 - \phi_k) + \gamma_k k 1/a \sin(k l_0 - \varepsilon_k)}{\sum_{k=1}^M \lambda_k k 1/a \sin(k l_0 - \phi_k) - \beta_k k a \sin(k l_0 - \zeta_k) - \gamma_k k b \sin(k l_0 - \varepsilon_k)}$$

$$\tan g(\theta) = \frac{\sum_{k=1}^M \beta_k a \cos(k l_0 - \zeta_k) + \gamma_k b \cos(k l_0 - \varepsilon_k) - \lambda_k 1/a \cos(k l_0 - \phi_k)}{\sum_{k=1}^M \gamma_k 1/a \cos(k l_0 - \varepsilon_k) + \alpha_k a \cos(k l_0 - \psi_k) + \lambda_k b \cos(k l_0 - \phi_k)}$$

$$u_2(k) u_1^*(k) = \alpha_k e^{j\psi_k}, \quad u_1^*(k) v_2(k) = \beta_k e^{j\zeta_k}, \\ v_1^*(k) v_2(k) = \gamma_k e^{j\varepsilon_k}, \quad u_2(k) v_1^*(k) = \lambda_k e^{j\phi_k}$$

Donc nous avons deux expressions qui donnent la tangente de l'angle de rotation. En égalisant ces deux expressions et en remplaçant l_0 par sa valeur, nous obtenons une fonction F de deux variables a, b . Les zéros de cette fonction sont obtenus par l'utilisation d'un algorithme numérique qui est une généralisation aux fonctions de deux variable de la méthode de Lagrange. Pour les racines de $F(a, b)$ il y a une valeur de θ qui minimise l'erreur quadratique.

Exemple : courbe synthétique

Pour montrer la validité des résultats obtenus nous allons utiliser un contour synthétique. Ce contour a été créé par l'expression suivante :

$$\begin{cases} x(t) = 2 \cos(t) \\ y(t) = \sin(t) + 0.5 \sin(5t) \end{cases} \quad t \in [0, 2\pi]$$

Nous avons fait subir à cette courbe une transformation affine A et un décalage l_0 (figure 1), définis par :

$$A = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.2 \\ 0 & 1/0.5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\pi/4) & \sin(\pi/4) \\ -\sin(\pi/4) & \cos(\pi/4) \end{pmatrix}, \quad l_0 = \frac{10\pi}{M} \text{ avec } M=600.$$

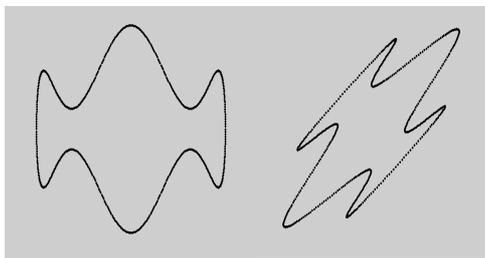


FIG. 1 : a) forme originale b) sa transformée par une affinité

$$\text{de paramètres } (a=0.5, b=0.2, \theta = \frac{\pi}{4}, l_0 = \frac{10\pi}{M})$$

Les résultats de notre algorithme d'estimation sont données par la figure 2. présentant la reconstruction à partir de la forme originale figure 1 (a) avec les paramètres estimés.

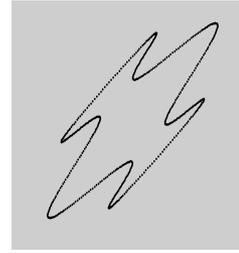


FIG.2 : Forme estimée ($a=0.5, b=0.2, \theta = 0.7654, l_0 = 0.0397, \text{Erreur} = 0.3426$)

4. Application

4.1 Séquence vidéophonique Claire

Pour tester la validité ainsi que la robustesse de notre algorithme, nous allons l'appliquer sur les contours des images de la séquence Claire. Cette séquence vidéophonique est caractérisée par un mouvement faible entre des images successives (figure 3).



FIG. 3 : Images 194 à 199 de la séquence Claire

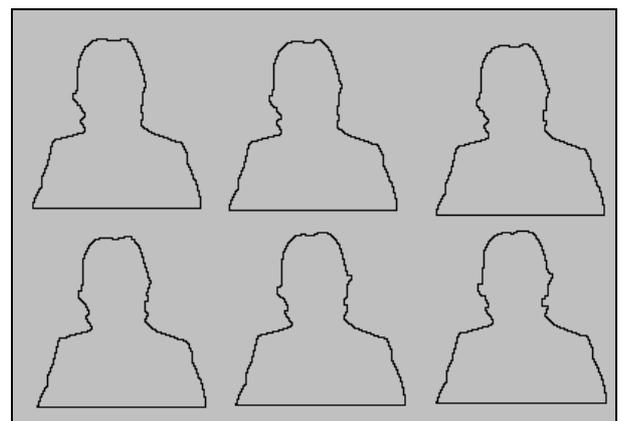


FIG.4: Les contours correspondants aux images de la figure 3.

A partir de cette séquence nous avons extrait une séquence de profils extérieurs (figure 4). Pour éliminer le vecteur de translation on effectue un changement d'origine au centre de gravité. Le facteur d'échelle est égale à 1 pour toute la

séquence, et le décalage est nul. Les autres paramètres sont donnés dans le tableau 1

TAB.1: Les paramètres affine liant les contours de la figure 4.

Couple contours	Angle θ en degré	Paramètres d'étirements		Erreur
		a	b	
(194)(195)	0.2054	0.8752	-0.1	0.5726
(195)(196)	-0.0911	1.0720	0	0.4605
(196)(197)	0.1600	0.8533	0	0.5133
(197)(198)	-0.1046	1.0748	0	0.4424
(198)(199)	-0.0585	1.0110	0.1	0.2817

Comme on peut le constater dans le tableau ci-dessus la valeur de a est presque partout égale à 1, tandis que b à une valeur presque nulle. Ce qui justifie bien le fait que le mouvement entre contours de la figure 4 n'est modélisé en fait que par une similitude (rotation, translation, facteur d'échelle).

4.2 Séquence vidéophonique Claire avec mouvement affine

Les contours de la séquence originale, comme on vient de voir, ne sont pas réellement modélisés par une affinité. Pour tester notre algorithme nous construisons une autre séquence formée de quatre contours obtenus de la façon suivante :

Le premier contour est le contour (194) de la séquence Claire, le deuxième contour est obtenu à partir du premier, en appliquant à ce dernier un facteur d'échelle $\alpha=2$, le troisième est le résultat d'une rotation d'angle $\theta=\pi/6$ appliquée au deuxième contour, le dernier est obtenu à partir du troisième par application d'une affinité de paramètres ($a=0.8, b=0.2, \theta=0, \alpha=1$). Nous obtenons la nouvelle série des contours représentés par la figure 5.

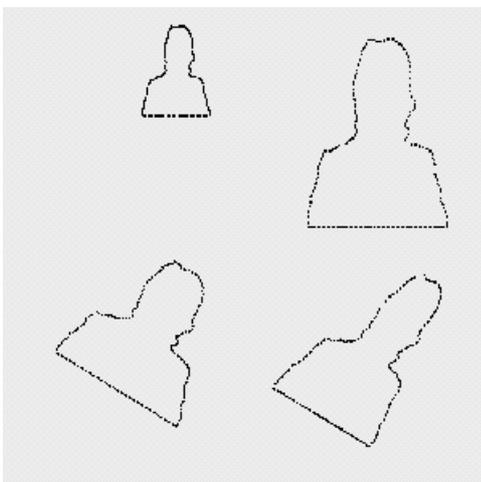


FIG. 5 : Contours de la séquence Claire après action des transformations indiqués ci dessus.

Comme le montre le tableau 2 les valeurs estimées sont proches des valeurs réelles. Dans le troisième cas

TAB.2 : Résultats d'estimation des paramètres pour le cas de la figure 5.

(a) Paramètres réels

θ	a	b	α	l_0
0	1	0	2	0
0.5236	1	0	1	0
0	0.8	0.2	1	0

(b) Résultats obtenus par l'algorithme proposé

θ	a	B	α	l_0	Erreur
0.0021	1.0051	0	2	0	1.8832
0.5215	1.0001	0	1	0	1.8828
0	0.8	0.2	1	0	0

(mouvement affine) l'erreur est nulle. On peut conclure à partir des résultats ci dessus que l'algorithme proposé donne de bons résultats pour le cas d'une rotation ainsi que lorsqu'il y a étirements.

Conclusion

Nous avons proposé une nouvelle méthode d'estimation de mouvement affine global de ces régions connexes à partir du mouvement de leur profil extérieur. La normalisation du paramétrage des contours basée sur l'abscisse affine est indispensable lorsque le mouvement est supposé affine. Sous cette hypothèse, nous avons introduit une fonction coût à minimiser afin d'estimer les paramètres de mouvement de manière analytique. Les résultats expérimentaux obtenus aussi bien sur des données synthétiques que sur des images réelles (la séquence de Claire) sont satisfaisants.

L'extension de cette approche à l'estimation de mouvement de ces régions en tenant compte des déformations des textures, est envisageable grâce à une modélisation provenant de l'analyse harmonique sur les groupes.

Références

- [1] M. Daoudi, F. Ghorbel, A. Mokadem, O. Avaro, H. sanson , Shape distance for contour tracking and motion estimation. Pattern Recognition, Vol 3217, pp 1297-1306, juin 99.
- [2] F. Ghorbel, Towards a unitary formulation for invariant image description : application to images coding, Special issue. Annales des télécommunications. pp : 145-153 vol 53, n°3-4, 98.
- [3] H. Nicolas and C. Labit, Global motion identification for image sequence analysis and coding. ICASSP. pp 2825-2828, Toronto, May 1991.

Remerciements :

Ce travail a été fait dans le cadre du réseau R1 du CMIFM (Actions Intégrées 74 et 88) et du projet PARS n° SI 036.