

Extraction des éléments caractéristiques du visage par approche géométrique

Résumé

L'objet de cette étude est d'extraire les éléments caractéristiques du visage dans le but de concevoir un système de communication homme-machine intégrant l'image pour un nombre limité d'utilisateurs. Ce système d'identification de visages utilise comme information de base les propriétés géométriques de ces derniers.

Cette opération se compose des quatre phases successives de traitement suivantes:

L'acquisition des images dynamiques (vidéo), la localisation des éléments caractéristiques du visage, l'extraction de leurs frontières respectives par une méthode de contour actif et en fin l'extraction des paramètres caractéristiques du visage.

Mots clés: Reconnaissance du visage, contour actif, descripteur de Fourier, gradient spatio-temporel.

Abstract

The object of this study is to extract the characteristic elements of the face with an aim of conceiving a man-machine communication system integrating the image for a limited number of users. This system of identification of faces uses as basic information the geometrical properties of the faces.

This operation is composed of the following successive treatment phases: The acquisition of dynamic images (video), localization of the face characteristic elements, the extraction of their respective borders by active contour method and the extraction of the face characteristics parameters.

Keywords: Faces recognition, active contour, Fourier descriptor, space-time gradient.

1. Introduction

L'idée de créer une machine possédant les mêmes facultés que l'homme et pouvant faire tout ce dont l'homme est capable de faire ne vient pas seulement dans le but de remplacer l'homme dans ces activités mais aussi pour protéger ses biens, car l'utilisation des codes qui, autrefois semblait être efficace, ne l'est plus maintenant au milieu de cette révolution technologique d'où est venue l'idée d'exploiter les caractéristiques propres de l'homme pour protéger ses biens, parmi lesquelles le visage qui représente le noyau autour duquel se situe l'étude que nous allons présenter.

Les travaux de la reconnaissance de visages à partir de vues frontales 2D prises dans des conditions d'illumination constantes, peuvent être épertoriés en deux catégories distinctes [3] suivant qu'ils se rapportent à une approche géométrique ou à une approche pixel.

C. BENCHERIET & H. TEBBIKH

Laboratoire d'Automatique et Informatique de Guelma - L.A.I.G-Université 8 Mai 45 de Guelma - Algérie

L'approche géométrique consiste à extraire la position relative des différents éléments du visage (tel que le nez, la bouche et les yeux) afin de restreindre l'espace des données initiales.

L'approche pixel est une approche globale qui nécessite peu de connaissances préalables sur la structure du visage et se base principalement sur l'information pixel. Ce type d'approche présente l'inconvénient majeur du temps de calcul élevé et ne garanti pas des résultats bénéfiques par rapport à l'approche géométrique.

Le système de reconnaissance du visage, que nous essayons de concevoir, utilise l'approche géométrique. Il s'agit d'une interface de communication Homme-Machine intégrant l'image pour un nombre d'utilisateurs limité. L'utilisateur de cette interface doit au moins prononcer un mot (qui peut être son nom par exemple) car l'activité labiale

joue un grand rôle dans la reconnaissance du locuteur.

Les données utilisées sont, donc, des séquences vidéo de locuteurs filmés de face avec un éclairage fixe.

Le contenu de cet article est organisé comme suit: Dans la section II, nous présentons le problème et nous proposons une méthodologie bien adaptée à sa résolution, et qui sera développée au cours des paragraphes suivants. Dans la section III, nous présentons une méthode permettant de localiser les éléments significatifs du visage tel que les yeux, le nez et la bouche. Dans la section IV, nous proposons un modèle spécifique de contour actif basé sur les descripteurs de Fourier permettant d'extraire la frontière de ses éléments. Ce modèle offre l'avantage de pouvoir s'adapter aisément à la géométrie de l'objet étudié. En fin, dans la section V, nous présentons un exemple sur les données géométriques qui peuvent être extraites du visage afin de le classer et le reconnaître par la suite.

II. Présentation du problème et principe de résolution

Le sujet de l'identification de visages est aussi vieux que la vision par ordinateur. Malgré que d'autres méthodes d'identifications peuvent être plus précises (empreintes digitales), l'identification de visages est restée toujours un centre important de recherche en raison de sa nature non envahissante et parce que c'est la méthode primaire des personnes pour identifier leurs semblables.

Le système d'identification de visages le plus célèbre est celui de Kohonen qui a démontré, en 1982, qu'un filet neural simple pourrait exécuter l'identification de visages pour des images alignées et normalisées. Le réseau qu'il utilise avait pour but de calculer une description du visage en rapprochant les vecteurs propres de la matrice d'autocorrelation de l'image du visage: ces vecteurs propres sont maintenant connus sous le nom de "eigenfaces".

Le système de Kohonen n'était pas un succès pratique, cependant il est précis en raison de l'alignement et de la normalisation.

Plus tard, Kirby et Sirovich [6] ont présenté une manipulation algébrique qui a rendu facile le calcul direct des "eigenfaces".

Turk et Pentland [11] ont démontré que l'erreur résiduelle commise pendant le codage des "eigenfaces" pourrait être employée pour détecter des visages dans l'imagerie naturelle et pour déterminer l'endroit et l'échelle précise des visages dans une image. Ils ont alors démontré qu'on couplant cette méthode pour détecter et localiser des visages, avec la méthode d'identification "d'eigenfaces", on pourrait réaliser l'identification fiable et en temps réel, des visages dans un environnement avec un minimum de contraintes.

Au niveau des systèmes d'identification de visages basés sur les contours, les distances d'inter-dispositif et d'autres approches neurales, beaucoup de chercheurs ont essayé plusieurs arrangements. Bien que plusieurs aient réussi sur de petites bases de données des images alignées, aucun n'a avec succès adressé le problème plus réaliste de grandes bases de données où l'endroit et l'échelle du visage sont inconnus.

Le système de vision par ordinateur d'identification de visage que nous envisageons de réaliser doit accomplir et de façon tout à fait autonome les tâches suivantes:

- Prendre des images instantanées de scènes dynamiques et plus exactement filmer (à l'aide d'une caméra) le visage d'un individu prononçant une allocution bien définie.
- Extraire les paramètres caractéristiques de son visage nécessaires pour son identification.
- Assurer la reconnaissance de l'individu filmé, en se référant à une base de données antérieure.

Pour résoudre le deuxième point, qui représente de point crucial du problème, nous proposons la méthodologie suivante:

- Localisation des éléments caractéristiques du visage (la bouche, les yeux et le nez).
- Extraction de leurs contours.
- Extraction des paramètres distance et des paramètres de Fourier qui jouent le rôle des empreintes de chaque visage.

Nombreuses sont les techniques utilisées pour extraire les éléments caractéristiques du visage, mais peu sont celles qui ont donné des résultats satisfaisants. A nos connaissances, les résultats les plus récents concernant ces techniques et les modèles développés en occurrence se résument en ce qui suit:

- La technique des modèles de contours actifs, connue sous le nom de snakes, basée sur la minimisation de l'énergie [7].
- La technique, basée sur des modèles déformables locaux, développée par Yuille, Cohen et Hallinan [12].
- La technique, basée sur un modèle déformable global, développée par Crow, Tock et Bennett [3].
- La technique, basée sur les descripteurs de Fourier, développée par E. Person et K. Fu [8].

Les snakes ont prouvé leurs utilités et leur efficacité de retrouver les contours frappants dans les images. Le modèle prévoit un traitement unifié à l'ensemble des problèmes visuels (les contours, les lignes et les contours subjectifs). Malgré l'efficacité des snakes, ils ne permettent pas de prendre en compte la forme spécifique des objets. Plus exactement, les contraintes géométriques appliquées à ces modèles apparaissent sous la forme de paramètres énergétiques et ne sont pas intégrées aux modèles.

Pour ces raisons des études spécifiques ont été réalisées afin de définir des modèles adaptés à l'extraction des contours des éléments du visage: ces modèles sont généralement de types déformables ou paramétriques tel que celui développé par Yuille, Cohen et Hallinan.

Ces chercheurs ont proposé, en 1988, un ensemble de modèles déformables spécifiques à chaque élément du visage. Ainsi le modèle utilisé pour la caractérisation de l'œil est constitué de 11 paramètres (le centre de l'œil, les foyers des demi-ellipses formant les contours supérieur et inférieur, l'orientation, le rayon de l'iris, ... etc.). Cette méthode ne permet pas d'extraire avec précision les contours et la localisation des éléments du visage et nécessite un temps de calcul important.

Un peu plus tard un modèle déformable global permettant d'extraire près de 40 points caractéristiques sur une image d'un visage a été développé par Craw, Tock, Bennett [3]. Ce modèle est constitué d'un ensemble de modèles adaptés chacun au traitement de l'un des éléments spécifiques du visage et d'une structure globale contrôlant la position géométrique des différents modules les uns par rapport aux autres.

Cette méthode a donné des résultats intéressants concernant la localisation des éléments du visage : cependant elle ne permet pas d'extraire avec précision les contours de ces éléments et nécessite un temps de calcul important.

Dans notre travail, nous avons opté pour le modèle paramétrique de contour actif à base de descripteurs de fourier.

Le choix du modèle paramétrique déformable est dû au fait que la bouche, les yeux et le nez sont des structures déformables.

Pour les descripteurs de Fourier, les premiers qui ont proposé l'utilisation d'un tel descripteur pour modéliser les contours actifs sont Staib et Duncan [10]. Seulement, leur méthode de convergence est une méthode stochastique bayésienne. Donc pour déterminer la distribution de probabilités utilisée pour la convergence, il est nécessaire d'avoir une connaissance précise de la géométrie et de la position de l'objet recherché. En effet, chaque paramètre suit une distribution de probabilité selon une loi normale centrée sur la valeur initiale de ce paramètre.

Dans notre cas, il n'est pas possible de connaître a priori la forme de chaque objet à un

instant origine, aussi leur localisation n'est pas suffisamment précise pour pouvoir utiliser cette méthode de convergence. C'est pourquoi nous avons préféré utiliser une méthode variationnelle pour rechercher la solution du modèle.

D'autre part, du fait que le visage est une structure déformable et présente un contraste important par rapport à son environnement spatial, nous avons estimé qu'il n'est pas évident d'aboutir à des résultats satisfaisants dans des conditions d'acquisition arbitraires. Pour cela, et comme étape préliminaire à des travaux futurs, nous avons limité notre étude aux images prises dans les conditions suivantes :

- Les séquences d'images doivent être d'au moins une seconde avec une fréquence de 24 à 30 images par seconde (dans notre cas nous avons pris 24).

- Les prises de vues doivent se faire sous des conditions d'illumination constantes c.à.d éclairage fixe et une prise de vue frontale 2D.

- La caméra doit être fixée sur un support, car ce qui nous intéresse est le mouvement du visage et non de la caméra.

III. Localisation des éléments caractéristiques du visage

Les travaux cités au paragraphe précédent, ont montrés qu'une application directe du modèle de contour actif sur l'image analysée rendrait difficile la tâche d'extraction des contours car elle nécessite un balayage de toute la matrice image, ce qui nécessite, a son tour, un temps de calcul considérable et ne garanti pas des résultats satisfaisants (risque de divergence de la courbe).

Pour cela, nous avons estimé qu'une localisation préalable des éléments caractéristiques du visage permettrait non seulement de remédier à ces inconvénients mais aussi à augmenter la précision de détection des contours.

III.1 Localisation des yeux

L'existence d'une tâche de réflexion spéculaire, due aux sources lumineuses frontales sur l'iris, nous permet de localiser la position des yeux (voir figure.1). En exploitant les pics du niveau de gris de la fonction intensité, nous obtenons la position des iris par application d'un seuillage sur la matrice image.

III.2 Localisation du nez et de la bouche

Pour localiser le nez et la bouche nous exploitons l'information spatio-temporelle de façon à repérer les points ayant les plus fortes variations

d'intensité au cours de la séquence, ce qui caractérise ces deux éléments qui subissent des déformations considérables lors de la locution. La meilleure façon d'évaluer cette variation est de réaliser, en chaque point, la sommation de la norme du gradient de l'intensité $I(x, y, t)$ avec une pondération adéquate entre la variation spatiale et temporelle, d'où l'expression :

$$I_{som} = \sum_{i=0}^N \left[\left(\frac{\partial I(x,y,t)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial I(x,y,t)}{\partial y} \right)^2 + \mu \left(\frac{\partial I(x,y,t)}{\partial t} \right)^2 \right] \quad (1)$$

- où :
- $I(x, y, t)$: est l'intensité du niveau de gris.
 - x, y : sont les composantes spatiales.
 - t : est la composante temporelle.
 - N : est le nombre d'images de la séquence.
 - μ : est un terme de normalisation dépendant de l'échantillonnage temporel de la séquence et du mouvement du visage.

IV. Extraction des éléments caractéristiques du visage

Notre objectif est de disposer d'un modèle simple et suffisamment général pour pouvoir extraire le contour de la bouche, des yeux et du nez tout en tenant compte de la géométrie propre de chacun de ces objets.

La première idée qui nous est venue est d'utiliser un modèle paramétrique de contour actif, utilisant les descripteurs de Fourier à base de courbes fermées [5][8], qui est parfaitement adaptée aux cas de la bouche et des yeux, du fait que leurs formes sont proches de celle d'une ellipse.

La figure 2 illustre les régions du visage sur lesquelles nous devons appliquer ce modèle.

IV.1 Descripteur de Fourier basé sur les courbes Fermées

La courbe recherchée a une forme proche de celle d'une ellipse. Nous pouvons, donc, la reproduire à partir de la représentation paramétrique suivante :

$$\alpha(\theta) = \begin{pmatrix} X(\theta) \\ Y(\theta) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 \\ c_0 \end{pmatrix} + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \begin{bmatrix} \cos k\theta \\ \sin k\theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

- où :
- a_0 et c_0 : sont les coordonnées du nœud de l'élément caractéristique considéré.
 - A_k : est la matrice (2 x 2) des coefficients de Fourier de l'harmonique k .

- N : est le nombre d'harmoniques utilisés pour décrire la courbe.
- θ : est le paramètre angulaire.

Afin d'extraire le contour d'un objet, nous recherchons un minimum local de la fonctionnelle d'énergie :

$$E(v) = \int_0^{2\pi} P(v(\theta)) + \lambda \left(\frac{\partial v(\theta)}{\partial \theta} \right)^2 d\theta \quad (3)$$

avec: $P = -|I * G|^2$ et $\lambda \in R$.

Le premier terme de l'énergie est lié à l'image traitée où P est le carré de la norme du gradient calculé dans l'image I et convolué par un filtre de lissage G .

Le second terme est un terme d'élasticité lié à la tension de la courbe où λ est un poids associé à la contrainte d'élasticité, il permet d'effectuer une pondération entre les forces issues du potentiel image et les forces d'élasticité.

La recherche de la courbe " v^* " qui réalise un minimum local de E est effectuée à l'aide d'une méthode de minimisation de type **Newton** [4][9].

Pour cela, nous utilisons le gradient de l'énergie $E(v)$, qui est un vecteur de dimension $4 \times N$, que nous calculons à partir de l'expression suivante:

$$\frac{\partial E}{\partial p} = \int_0^{2\pi} \frac{\partial P(v(\theta))}{\partial \alpha(\theta)} \cdot \frac{\partial \alpha(\theta)}{\partial p} + 2\lambda \cdot \frac{\partial \alpha(\theta)}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial \alpha(\theta)}{\partial p} d\theta \quad (4)$$

Où p est un élément de A_k .

IV.2 Descripteur de Fourier basé sur les courbes ouvertes

Dans le cas présent, un modèle formé de deux courbes elliptiques ouvertes et connexes permet de représenter de façon fiable le contour de la bouche ou des yeux. Le nez est par contre décrit par une seule courbe.

Soit V_N un modèle formé de deux courbes ouvertes V_A et V_B jointes en leurs extrémités et défini par:

$$V_N(\theta) = \begin{cases} V_A(\theta) & \text{si } 0 \leq \theta < \pi \\ V_B(\theta) & \text{si } \pi \leq \theta < 2\pi \end{cases}$$

avec: $V_A(0) = V_B(2\pi)$ et $V_A(\pi) = V_B(\pi)$.

De la même manière que pour le cas des courbes fermées, nous utilisons le gradient de l'énergie, exprimé par l'équation (4) pour extraire la courbe optimale " v^* ". L'algorithme utilisé pour détecter les contours des éléments du visage est un algorithme de

type pyramidal (figure 3) dont le principe est le suivant :

- En partant de deux demi-ellipses, comme courbes initiales entourant l'objet étudié, nous cherchons, par une minimisation de l'énergie, une courbe V_1 décrite par une seule harmonique.
- Le résultat obtenu est utilisé pour initialiser un nouveau modèle V_2 à deux harmoniques.
- On refait l'opération jusqu'à l'obtention d'une courbe V_n à n harmoniques décrivant les contours de l'élément recherché.

V. Résultats et discussions

Nous avons conçu une base de données constituée de plusieurs personnes où nous avons pris pour chaque personne 4 séquences de 10 images chacune [1].

La figure 4 représente un échantillon des séquences vidéo constituant la base de données.

V.1-Localisation des éléments caractéristiques du visage

Les résultats obtenus pour la détection des positions des éléments caractéristiques du visage sont très satisfaisants et sont dotés d'une grande précision. La figure 5 illustre les positions des yeux, de la bouche et du nez d'une personne appartenant à la base de données constituée.

V.2 Extraction des contours des éléments caractéristiques du visage

V.2.1 Extraction des contours en utilisant les descripteurs de Fourier à courbes fermées

Plusieurs tests ont été effectués avec différents nombres de modes pour différents potentiels (voir figure 6). Ces tests ont montré que le fait d'augmenter le nombre de modes n'améliore pas forcément les résultats.

Nous avons aussi rencontré des problèmes lorsque le contour de l'objet recherché possède des points fortement irréguliers au sein de portions régulières (c'est le cas de la bouche et des yeux dont les contours contiennent des coins).

Ce modèle ne nous permet pas de modéliser le contour du nez puisque ce dernier est décrit par une courbe ouverte.

V.2.2 Extraction des contours en utilisant les descripteurs de Fourier à courbes ouvertes

Pour remédier aux inconvénients rencontrés dans le cas précédent, nous avons créé un nouveau modèle de contours actifs basés sur les descripteurs de Fourier à courbes ouvertes. Les résultats obtenus sont illustrés sur la figure 7 où nous constatons que :

- La courbe optimale " v^* " décrivant le contour des yeux est constituée d'une harmonique pour la partie inférieure et de trois harmoniques pour la partie supérieure (voir figure 7.a).
- Pour la bouche, elle est aussi constituée d'une harmonique pour la partie inférieure mais de cinq harmoniques pour la partie supérieure (voir figure 7.b).
- Pour le nez, elle est constituée d'une demi-ellipse de cinq harmoniques (voir figure 7.c).

V.3 Extraction des paramètres du visage

En partant du principe de reconnaissance humain, il nous paraît que le facteur principal de reconnaissance est la géométrie du visage, les autres facteurs tel que la couleur sont, à notre avis, secondaires.

Au même titre que toute forme géométrique, nous proposons de décrire les contours des éléments caractéristiques du visage, selon le degré de précision désiré, par :

- 1- Des paramètres de type distance (pour une précision moyenne).
- 2- Des paramètres de Fourier (pour une précision élevée).

V.3.1 Extraction des paramètres de type distance

Ces paramètres sont représentés par les rapports des distances entre les éléments caractéristiques du visage. L'utilisation des rapports a pour but d'éviter les erreurs dans le cas où les distances entre personnes et caméra ne seraient pas respectées. Les distances prises dans notre cas sont illustrés par la figure 8, mais pour augmenter l'exactitude des résultats, nous pouvons ajouter d'autres distances qui apportent plus d'informations sur chaque visage.

Les rapports utilisés sont les suivants : CE/AB , CD/AB , CE/DE . Nous avons fait quatre mesures pour les trois rapports : deux en prononçant le même mot et les deux autres en prononçant un autre mot.

Ces mesures ont été prises pour l'ensemble des personnes constituant la base de données.

Les résultats obtenus pour cinq personnes pris de façon aléatoire, sont illustrés par les graphiques de la figure 9, où nous constatons que les courbes se superposent lorsque la personne prononce le même mot et elles sont différentes lorsque la même personne prononce un autre mot.

Les mêmes mesures ont été prises pour toutes les personnes mais cette fois-ci en prononçant le même mot. Les résultats correspondants sont illustrés sur le graphe de la figure 10, à partir duquel nous constatons qu'aucune courbe ne coïncide avec une autre, ce qui facilite l'identification de chaque personne.

Ceci prouve que nous avons obtenu de bons résultats [1], mais cela reste à notre avis insuffisant car nous espérons pouvoir identifier avec plus de précision les personnes, en associant les paramètres de Fourier décrivant les contours des éléments caractéristiques du visage.

V.3.2 Extraction des paramètres de Fourier

La détection des contours des éléments caractéristiques du visage nous a offert une nouvelle information représentée par les paramètres de Fourier décrivant chacune des courbes des contours des éléments caractéristiques du visage.

Les tableaux 1 et 2 rassemblent les paramètres obtenus décrivant les contours des éléments caractéristiques du visage de deux personnes différentes, où nous remarquons que les paramètres des deux personnes sont presque tous différents.

Ceci enrichi de plus en plus les connaissances géométriques acquises sur chaque visage, d'où l'augmentation des probabilités d'une reconnaissance précise des visages.

VI. Conclusion

Nous avons présenté une étude permettant d'extraire les informations utiles pour la reconnaissance des visages. Cette étude est basée sur les propriétés géométriques du visage et s'appuie sur un modèle de contour actif à base des descripteurs de Fourier.

Nous estimons que l'étude que nous venons de présenter est d'une grande importance dans le domaine de la reconnaissance de visage, surtout grâce aux résultats très satisfaisants obtenus.

Cette étude peut être complétée par une classification qui permet l'identification des visages en utilisant comme outil de base les rapports et les paramètres de Fourier.

Nous pouvons également ajouter la caractéristique son (reconnaissance vocale) pour améliorer la fiabilité du système d'identification.

VII. Références Bibliographiques

- [1]: Bencheriet C.E., Approche Géométrique Pour la Reconnaissance de Visage. Mémoire de Magister. Université 8 Mai 45 de Guelma. PP.72-96, 2000.
- [2]: Bertrand L. et Col. Approche Géométrique Et Classification Pour La Reconnaissance De Visage. Projet AMIBE de INRIA. 1996, PP. 548-557.
- [3]: Craw. I. et Col., Finding Face Features. In Proceeding of the First European Conference on Computer Vision. 1992, PP. 92-96.
- [4]: Culilio J.C. Introduction à L'optimisation. PP. 60-61, Edition Ellipse, 1996.
- [5]: Khul F.P. et Giardina C.R. Elliptic Fourier features of Closed Contour. Graphics Image Processing. 1982, Vol. 18, PP. 236-258.
- [6]: M.Kirby, and L. Sirovitch. Application of the Karhunen-Loeve procedure for the characterization of human faces. IEEE Trans. PAMI 12 :103-108, Jan 1990.
- [7]: M. Kess. A. Witkin and D. Terzopoulos. Snakes: Active contour models. In proceeding of the first international conference on computer vision, page 259-268 London, June 1987.
- [8]: Person E. et Fu. K.S. Shape Discrimination Using Fourier Descriptor. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986, Vol. 8, No. 3, PP. 388-397.
- [9]: Pchénitchny B. et Daniline Y. Méthodes Numérique Dans Les Problèmes D'extremum. PP. 40 -134, Edition Mir, Moscou, 1977.
- [10]: Staib L.H. et Duncan J.S. Boundary Finding With Parametrically Deformable Models. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, Vol. 14, No. 11, PP.1061-1075.
- [11]: M.Turk and A. Pentland. Eigen faces for recognition. Journal of cognitive Neuroscience. 3(1): 71-86, 1991.
- [12]: A.Yuille, D.Cohen and P.Hallian. Facial feature extraction by deformable templates. Technical Report 88-2 Harvard Robotics Laboratory, 1988.

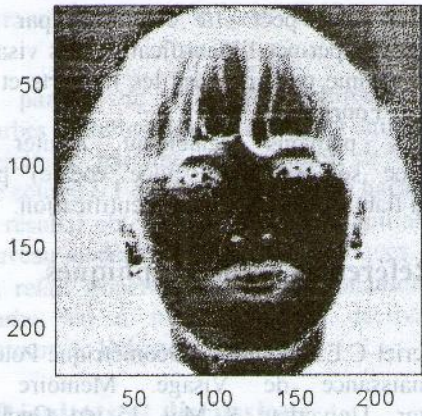


Fig.1 : Localisation des yeux par les pics d'intensités au niveau des iris.

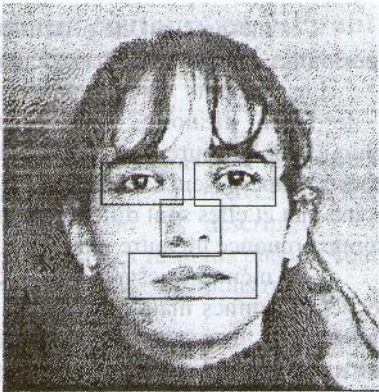


Fig.2 : Régions sur lesquelles nous devons appliquer le modèle de contour actif

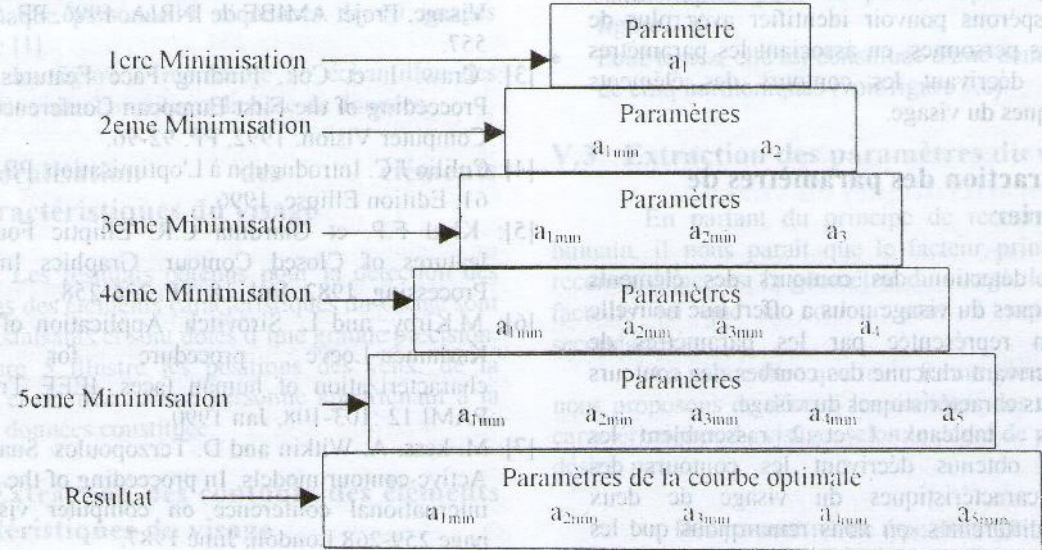


Fig.3 : Schéma bloc de l'algorithme pyramidal



Fig.4: Extrait des séquences vidéo constituant la base de données



Fig.5: Résultat de la détection de la position des éléments caractéristiques du visage



(a) Détection du contour des yeux. Initialisation et résultat obtenu avec trois harmoniques.

(b) Détection du contour de la bouche. Initialisation et résultat obtenu avec cinq harmoniques.

Fig.6 : Extraction des contours des yeux et de la bouche par les descripteurs de Fourier à courbes fermées



(a) Extraction du contour des yeux. Initialisation et résultats obtenus avec deux puis trois harmoniques pour le contour supérieur. Le contour inférieur est décrit par une seule harmonique.



(b) Extraction du contour de la bouche. Initialisation et résultats obtenus avec deux puis cinq harmoniques pour le contour supérieur. Le contour inférieur est décrit par une seule harmonique.



(c) Extraction du contour du nez. Initialisation et résultats obtenus avec deux puis cinq harmoniques.

Fig.7 : Extraction des contours des yeux, de la bouche et du nez par les descripteurs de Fourier à courbes ouvertes

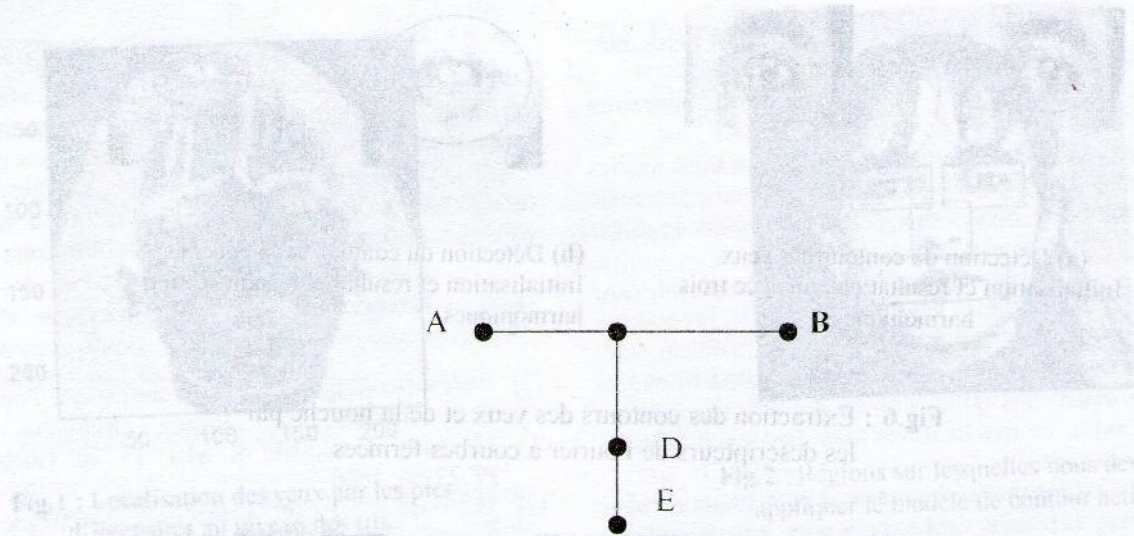


Fig.8 : Schéma représentatif des points caractérisant le visage

A et B : représentent les positions des yeux.

D et E : représentent les positions respectives du nez et de la bouche

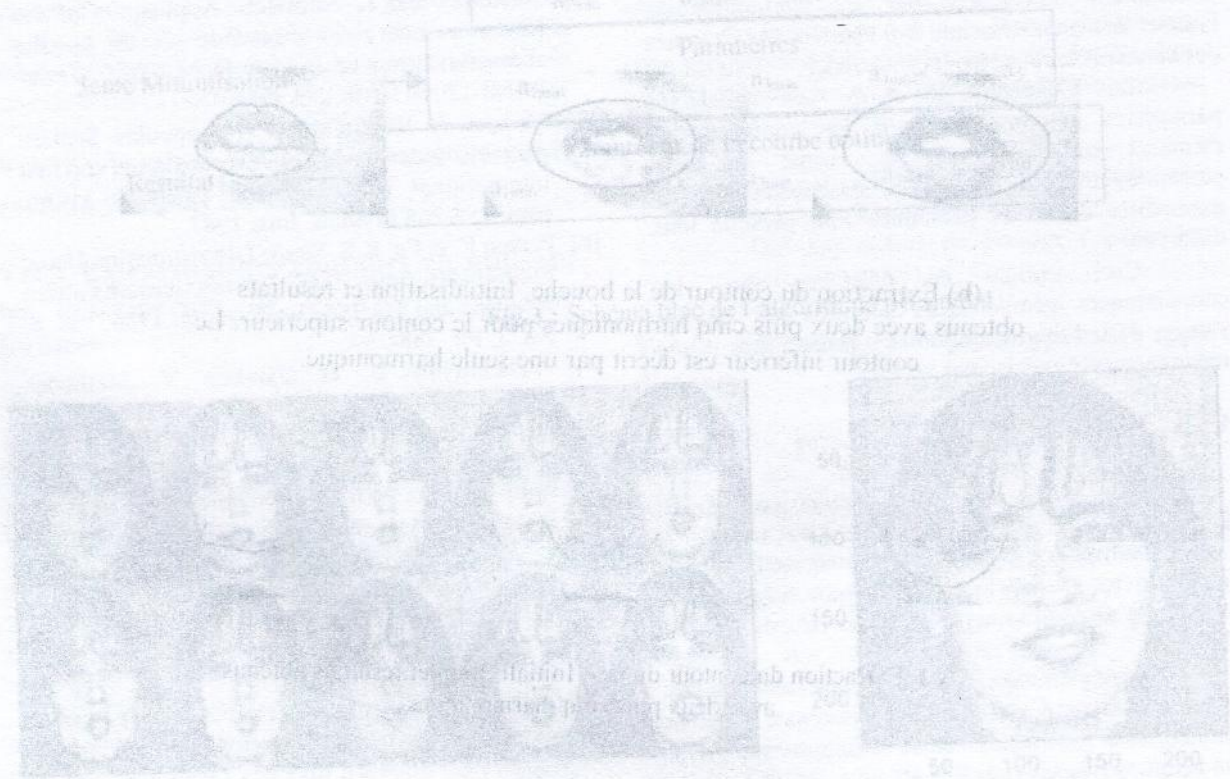


Fig.7 : Extraction des contours des yeux, de la bouche et du nez par les descripteurs de

Fourier à courbes convexes

la base de données

Fig.5: Résultat de la détection de la position des éléments caractéristiques du visage

YEUX	$a_1 = 12.20$	$a_2 = 1.25$	$a_3 = 2.59$		
	$b_1 = 7.48$	$b_2 = 0.38$	$b_3 = 0.83$		
	$c = 5.69$				
BOUCHE	$a_1 = 18.00$	$a_2 = 0.30$	$a_3 = 2.76$	$a_4 = 0.05$	$a_5 = -1.22$
	$b_1 = 10.00$	$b_2 = 0$	$b_3 = 0.10$	$b_4 = 0$	$b_5 = -1.63$
	$c = 10.30$				
NEZ	$a_1 = 19.30$	$a_2 = 0.42$	$a_3 = 1.97$	$a_4 = 0.08$	$a_5 = -3.26$
	$b_1 = 11.80$	$b_2 = 0$	$b_3 = 0.27$	$b_4 = 0$	$b_5 = -0.26$

Tab.1 : Tableau rassemblant les paramètres de Fourier des contours des éléments caractéristiques du visage d'une personne

YEUX	$a_1 = 11.30$	$a_2 = 0.85$	$a_3 = 3.77$		
	$b_1 = 8.32$	$b_2 = 0$	$b_3 = 0.65$		
	$c = 4.83$				
BOUCHE	$a_1 = 16.70$	$a_2 = 0.26$	$a_3 = 4.18$	$a_4 = 0.08$	$a_5 = -1.34$
	$b_1 = 10.20$	$b_2 = 0$	$b_3 = 0.01$	$b_4 = 0$	$b_5 = -2.43$
	$c = 10.40$				
NEZ	$a_1 = 15.50$	$a_2 = 0.42$	$a_3 = 1.99$	$a_4 = 0.08$	$a_5 = -3.74$
	$b_1 = 11.90$	$b_2 = 0$	$b_3 = 0.32$	$b_4 = 0$	$b_5 = -0.23$

Tab.2 : Tableau rassemblant les paramètres de Fourier des contours des éléments caractéristiques du visage d'une deuxième personne.

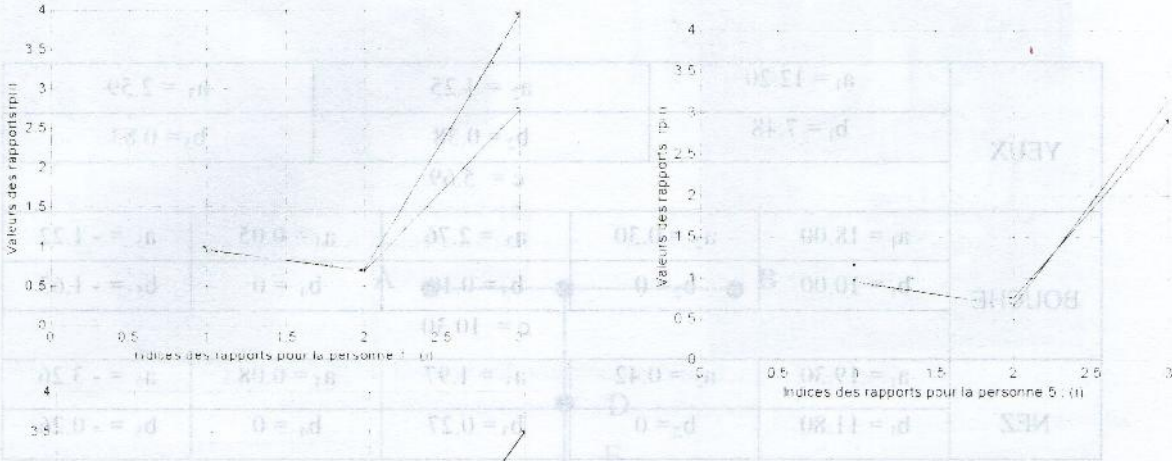


Fig.9: Illustration graphique des rapports des distances des éléments caractéristiques du visage pour les cinq personnes prononçant des mots différents

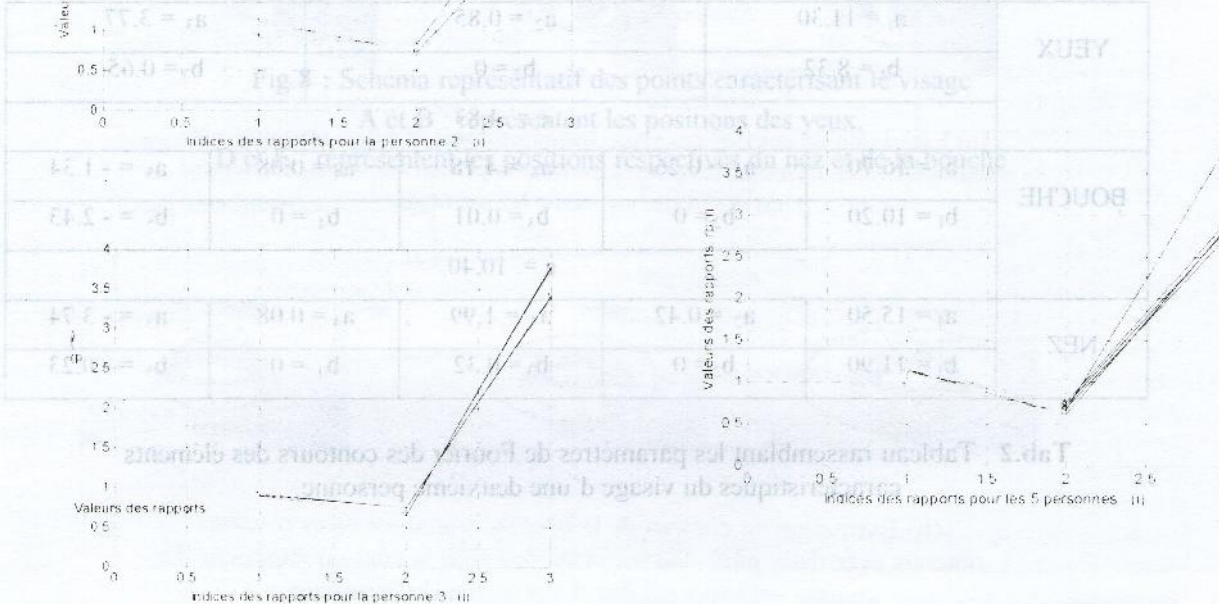


Fig.10: Graphique représentatif des rapports pour les cinq personnes prononçant le même mot