

# Reconnaissance de Visages 3D Utilisant l'Analyse de Formes des Courbes Faciales

C. Samir<sup>1</sup>

M. Daoudi<sup>1</sup>

A. Srivastava<sup>2</sup>

<sup>1</sup> FOX-MIIRE Research Group (LIFL UMR USTL-CNRS 8022)

(GET/INT - ENIC Telecom Lille 1)

Rue G. Marconie Cité Scientifique 59650 Villeneuve d'Ascq

{daoudi, chafik}@enic.fr

<sup>2</sup> Department of Statistics

Florida State University, Tallahassee

FL 32306, USA

anuj@stat.fsu.edu

## Résumé

*Dans ce papier, nous présentons une nouvelle méthode pour la reconnaissance de visages 3D. Nous proposons de comparer deux surfaces faciales à travers les formes des courbes faciales. L'idée de base est d'approximer grossièrement la surface faciale  $S$  par un ensemble fini de courbes de niveau, appelés courbes faciales, d'une fonction  $F$  sur  $S$ .*

*En utilisant la géométrie riemannienne nous définissons la notion de chemin géodésique entre deux surfaces, et la distance entre deux surfaces.*

*Des résultats expérimentaux sur la base Notre Dame démontrent l'efficacité de notre approche pour la reconnaissance de visages 3D. En effet, la courbe ROC montre que si on accepte 1% de faux positif alors on obtient 97%.*

## Mots Clef

reconnaissance de visages 3D, chemin géodésique, image de profondeur, métriques sur les formes de visages, courbes faciales.

## 1 Introduction

La reconnaissance automatique de visage humain basée sur le traitement des images 2D s'est bien développée ces dernières années, et plusieurs techniques ont été proposées. Malgré les résultats obtenus dans ce domaine, la reconnaissance robuste de visage reste un problème très difficile. Les méthodes actuelles sont efficaces lorsque les conditions de prise de vue des images tests sont similaires à celles des images d'apprentissage. Cependant, la grande variabilité générée par le changement de luminosité et le changement de prise de vue causent de sérieux problèmes pour de nombreux systèmes de reconnaissance existants. Une solution à ce problème, est l'utilisation de l'information tridimen-

sionnelle du visage car elle permet une meilleure information sur les caractéristiques du visage humain dans l'espace 3D [6]. Cette information procure une invariance relative à la lumière et aux conditions de prise de vue. En plus, les avancées récentes en imagerie 3D (outils d'acquisition, modeleurs, cartes graphiques, etc.) rendent possibles la création et le stockage des visages 3D.

Etant donné un visage scanné 3D, le but de ce travail est de développer des algorithmes pour comparer les formes des visages 3D dans un objectif de reconnaissance de visages[11].

Plusieurs approches utilisent les propriétés différentielles des surfaces comme les courbures principales maximales, minimales permettant la segmentation de la surface [3] en plusieurs régions selon leur concavité, convexité et points de selles. Ces caractéristiques locales de la surface peuvent offrir des outils intéressants pour la reconnaissance d'un visage 3D. Dans [10] un minimum de trois points est nécessaire pour établir un alignement de la surface du visage 3D, les points choisis dans ce travail sont le nez et les yeux. Les auteurs utilisent l'index de courbure sur le maillage pour l'extraction de ces points. Après l'alignement, une transformation rigide est estimée par l'algorithme ICP en proposant un algorithme combinant les résultats obtenus dans [5] et [4].

Chafik et al. [2] proposent une approche topologique, ils utilisent les graphes de Reeb en enrichissant leurs noeuds par la courbure moyenne comme information géométrique. Les méthodes utilisées actuellement pour la reconnaissance des visages 3D ont plusieurs inconvénients. D'une part, elles utilisent des propriétés différentielles des surfaces telles que les courbures. Elle sont donc très sensibles aux bruits. Et d'autre part, deux surfaces représentant deux visages avec des expressions faciales différentes se-

ront classés d’une manière similaire car elles sont basées essentiellement sur la comparaison de surfaces, en essayant de trouver la meilleure transformation euclidienne. En effet, les visages ne peuvent pas être traités comme des objets rigides puisqu’ils peuvent subir des déformations dues aux expressions faciales.

Le but de notre travail est de caractériser les formes des surfaces des visages modulo des déformations qui correspondent aux déformations faciales.

Dans ce papier, nous proposons un cadre où la comparaison entre formes peut être potentiellement indépendante du choix de la représentation de la forme. Notre approche est de *représenter une surface en utilisant une famille de courbes fermées* [8][1]. Ces courbes seront calculées comme les courbes à niveau d’une fonction continue  $F$  de la surface du visage, et les indexes correspondent aux valeurs de cette fonction. Nous pouvons utiliser par exemple **la fonction de profondeur** (valeur des coordonnées  $z$ ) comme fonction où les courbes à niveau fournissent les courbes des visages désirées. Les formes de deux surfaces de visages seront comparées par la comparaison des formes de courbes faciales des visages. Cette approche utilisant les formes des courbes de niveau pour analyser les formes des surfaces est plus générale et elle est indépendante des limitations associées au choix de  $F$ . En fait, elles existent certaines fonctions dont les courbes de niveau sont invariantes aux transformations rigides des surfaces, et sont adaptées pour ce type d’analyse [8]. Autrement dit, notre méthode est adaptée pour comparer des courbes planes, une généralisation dans le cadre des courbes 3D est en cours de rédaction dans un autre papier.

Le reste du papier est organisé de la façon suivante : la section 2 décrit notre représentation faciale utilisant les formes des courbes faciale et les métriques pour comparer les courbes extraites à partir du maillage 3D du visage. La section 3 présente des résultats expérimentaux sur la base Notre Dame[7]. Nous terminerons par une conclusion résumant les points forts de notre approche.

## 2 La représentation de la forme des courbes faciales

Soit  $S$  une surface dénotant le visage scanné. Bien qu’en pratique la surface  $S$  soit représentée par un maillage triangulaire définie par des sommets et des arêtes, nous commencerons notre discussion en supposant la continuité de la surface  $S$ . D’une manière précise, elle est plongée dans l’hémisphère supérieure  $S^2_+$  dans  $\mathbb{R}^3$ . Dans cette définition, nous avons ignoré (ou rempli) les trous dans  $S$  associés aux yeux, et à la bouche. La figure 1 montre des exemples de la surface  $S$ , de la même personne avec différentes expressions faciales.



FIG. 1 – Exemple de surface faciale d’une personne avec différentes expressions faciales.

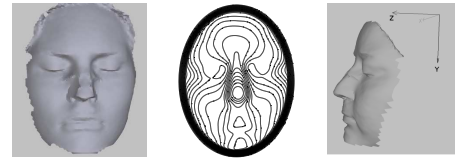


FIG. 2 – Exemple de courbes faciales  $C_\lambda$  pour une surface  $S$ . Système local de coordonnées attaché à un visage.

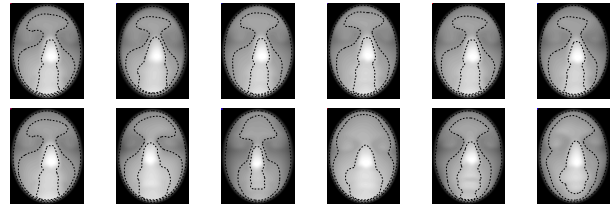


FIG. 3 – Trois courbes faciales pour chaque surface. Haut : six expressions faciales, la même personne. Bas : la même expression faciale, six personnes différentes.

Soit  $F : S \mapsto \mathbb{R}$  une fonction continue définie sur  $S$ . Soit  $C_\lambda$  la ligne de niveau de  $F$ , appelée aussi **courbe faciale**, pour la valeur  $\lambda \in \mathbb{R}$ , i.e.

$$C_\lambda = \{p \in S | F(p) = \lambda\} \subset S,$$

Nous pouvons reconstruire  $S$  à partir des courbes de niveau  $S = \cup_\lambda C_\lambda$ . La figure 2 montre des exemples de courbes de niveau d’un visage. En principe, la collection des courbes de niveau  $\{C_\lambda | \lambda \in \mathbb{R}_+\}$  contient toutes les informations sur  $S$  et nous pouvons analyser la surface  $S$  à travers les courbes  $C_\lambda$ . En pratique, cependant, un échantillonnage fini de  $\lambda$  restreint la représentation à une approximation grossière de la forme de la surface  $S$ .

Dans ce papier, nous avons choisi de représenter  $F$  par **la fonction de profondeur**. Par conséquent  $F(p) = p_3$ , la composante  $z$  du vecteur  $p \in \mathbb{R}^3$ . Notre but est d’analyser

la forme de  $S$  invariante sous l'action du groupe des similitudes  $\mathbb{SE}(3) \equiv \mathbb{SO}(3) \times \mathbb{R}^3$  sur la surface  $S$  ( $\times$  implique un produit semi direct, qui signifie que la rotation est toujours appliquée avant la translation). Par conséquent, nous préférons former les ensembles de niveau  $C_\lambda$  dont les formes sont invariantes à l'action du groupe  $\mathbb{SE}(3)$  sur  $S$ . Nous allons maintenant étudier la variabilité des courbes de niveaux de  $F$  respectant ces transformations. Récrivons  $\mathbb{SE}(3)$  comme  $(\mathbb{SO}(2) \times \mathbb{S}^2) \times (\mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^1)$ , où nous pouvons interpréter  $\mathbb{SO}(2) \times \mathbb{R}^2$  comme une transformation rigide dans le plan  $x - y$ , i.e. perpendiculaire à l'axe  $z$ ,  $\mathbb{S}^2$  comme la direction de l'axe  $z$ , et  $\mathbb{R}$  la translation dans la direction de  $z$ . Nous supposons que les axes  $x - y - z$  forment un système de coordonnées cartésiennes lié au modèle, tel que l'axe  $z$  est aligné avec la direction de la caméra, comme le montre la figure 2. Comme nous allons décrire plus tard, notre technique de comparaison des formes des contours fermés est invariante aux transformations planes dans  $\mathbb{SO}(2) \times \mathbb{R}^2$  et la translations selon  $z$  dans  $\mathbb{R}$ . Cependant, nous n'avons aucun moyen direct pour supprimer les variabilités dues aux changements dans la direction de  $z$  qui varie autour de  $\mathbb{S}^2$ ; nous supposons que nous avons un moyen pour l'alignement de la surface du visage de la rotation de telle sorte que les axes  $z$  soient toujours alignés.

La figure 3 montre des surfaces faciales représentées par trois courbes faciales. On peut voir que celles-ci sont robustes aux déformations dues aux expressions faciales.

## 2.1 La forme des courbes faciales

Considérons les courbes faciales  $C_\lambda$  fermées, les courbes planes  $\mathbb{R}^2$  sont paramétrisées par l'abscisse curviligne. La fonction coordonnée  $\alpha(s)$  de  $C_\lambda$  liée à la direction de la fonction  $\theta(s)$  selon  $\dot{\alpha}(s) = e^{j\theta(s)}$ ,  $j = \sqrt{-1}$ . Pour rendre les formes invariantes aux rotations planes, nous allons nous restreindre aux fonctions angulaires de telle sorte que,  $\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \theta(s) ds = \pi$ . Il faut aussi que les courbes soient fermées,  $\theta$  satisfasse la condition de fermeture :  $\int_0^{2\pi} \exp(j\theta(s)) ds = 0$ . En résumé, nous allons nous restreindre à l'ensemble  $\mathcal{C} = \{\theta \mid \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \theta(s) ds = \pi, \int_0^{2\pi} e^{j\theta(s)} ds = 0\}$ . Pour supprimer la re-paramétrisation du groupe (différents placements de l'origine, les points avec  $s = 0$ , sur la même courbe), définie l'espace quotient  $\mathcal{D} \equiv \mathcal{C}/\mathbb{S}^1$  comme l'espace des courbes planes continues.

Soient  $C_\lambda^1$  et  $C_\lambda^2$  deux courbes faciales associées à deux visages différents, extraites à partir du même niveau  $\lambda$ . Nous nous intéressons à la quantification de la dissimilarité entre ces deux courbes. Soient  $\theta_1$  et  $\theta_2$  les fonctions angulaires associées aux deux courbes, respectivement. Un outil important de l'analyse Riemannienne des formes est de construire les chemins géodésiques entre les formes et d'utiliser la longueur géodésique comme distance entre formes. Klassen et al. [12] approxime les géodésiques dans  $\mathcal{D}$  en dessinant des segments infinitésimales dans  $\mathbb{L}^2$  et les projeter dans  $\mathcal{S}$ . Pour deux courbes  $\theta_1, \theta_2 \in \mathcal{S}$ , ils uti-

lisent une méthode pour construire des géodésiques entre eux. L'idée de base est de chercher une direction tangente  $g$  à la première forme  $\theta_1$ , de telle sorte que de telle géodésique dans cette direction atteigne la seconde forme  $\theta_2$ , appelée forme cible, dans une unité de temps. Cette recherche est réalisée en minimisant une "fonction de perte" définie comme une distance dans  $\mathbb{L}^2$  entre la forme atteinte et  $\theta_2$ , en utilisant "la méthode du gradient". La géodésique, respectant la métrique définie dans  $\mathbb{L}^2$  :  $\langle g_1, g_2 \rangle = \int_0^{2\pi} g_1(s)g_2(s)ds$ , est dans l'espace tangent de  $\mathcal{D}$ . Ce choix implique que la géodésique entre deux formes est le chemin qu'utilise le minimum d'énergie pour déformer une forme vers une autre. La figure 4 montre deux exemples de chemins géodésiques entre surfaces faciales. Le premier correspond à un chemin géodésique entre deux surfaces correspondant à la même personne mais avec deux expressions faciales différentes. Le second exemple correspond au chemin géodésique entre deux visages de deux personnes différentes.

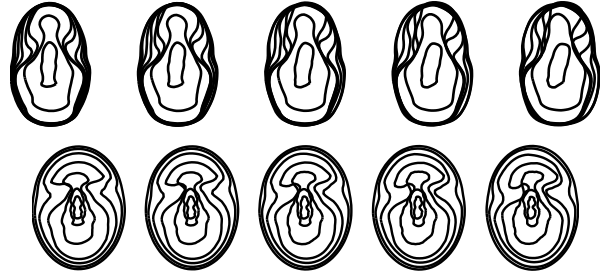


FIG. 4 – Chemin géodésique entre deux surfaces faciales. Haut : même personne, différentes expressions faciales. Bas : différentes personnes.

## 2.2 Une métrique pour la comparaison des courbes faciales

Maintenant que nous avons défini une métrique pour comparer les formes des courbes faciales, il est devenu facile de comparer les formes des surfaces. Supposons que  $\{C_\lambda^1 \mid \lambda \in \Lambda\}$  et  $\{C_\lambda^2 \mid \lambda \in \Lambda\}$  soient deux collections de courbes faciales associées aux deux surfaces, une métrique possible entre ces deux surfaces est :  $d_g(S^1, S^2) = \left( \prod_{\lambda \in \Lambda} d(C_\lambda^1, C_\lambda^2) \right)^{1/|\Lambda|}$  où  $\Lambda$  est un ensemble fini de valeurs utilisées pour approximer la surface faciale par les courbes faciales. Les résultats expérimentaux obtenus par [1] montrent que d'autres distances sont possibles. Le choix de  $\Lambda$  est important dans les performances que nous obtiendrons. L'amélioration de la métrique est fonction de la taille de  $\Lambda$ , mais comment choisir les éléments de  $\Lambda$ ? Dans ce papier, nous avons pris toutes les valeurs de profondeur et nous les avons échantillonnées uniformément pour obtenir  $\Lambda$ .

### 3 Résultats expérimentaux

En utilisant le cadre général que nous venons de décrire, différentes expériences vont nous permettre d'analyser les formes des surfaces faciales.

#### 3.1 Pré-traitement et extraction des courbes

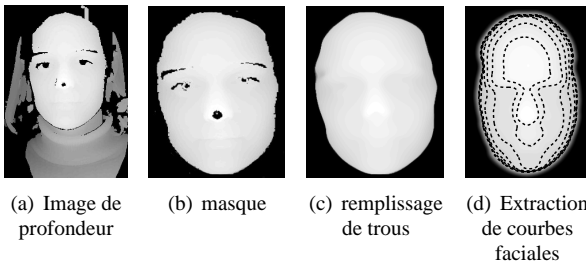
Nous allons maintenant appliquer l'algorithme décrit dans les sections précédentes sur la base publique *Notre dame* [9], [7], utilisée pour comparer différents algorithmes de reconnaissance de visages 3D.

C'est une base de visages 3D représentés sous forme d'images de profondeur. Cependant, cette base nécessite un pré-traitement afin qu'on puisse l'utiliser en pratique. En effet, les visages 3D contiennent des trous, des cheveux et des habilles.

Les Figures 3.1(a)-(d) montrent un exemple de pré-traitement effectué sur les visages pour les rendre utilisables par notre algorithme.

La figure 3.1(a) montre un exemple d'une image de profondeur avec trous, des cheveux et des habilles. La figure 3.1(b) représente le masque associé pour supprimer les cheveux et les habilles, la figure 3.1(c) représente l'algorithme d'interpolation qui permet de remplir les trous et enfin l'étape d'extraction de courbes faciales lisses représentées dans la figure 3.1(d).

En résumé, notre algorithme suit les étapes suivantes : (i) Extractions des courbes faciales à partir des images de profondeur. (ii) Calcul d'une fonction d'angle pour chaque courbe extraite, paramétrisation par l'abscisse curviligne, (iii) calcul des longueurs géodésiques entre les courbes faciales respectives, et calcul des distances entre les surfaces faciales. En terme de temps de calcul, ces trois étapes prennent moins d'une seconde sur un PC de bureau.



#### 3.2 Performance de l'algorithme

Bien qu'il y ait 953 visages correspondant à 277 personnes à l'origine, nous avons supprimé des visages dont le maillage avait des grandes parties manquantes. Nous avons divisé les 740 visages scannés restants en une base d'apprentissage de 470 visages et une base test de 270 visages 3D.

Nous avons utilisé l'algorithme du plus proche voisin comme classifieur pour calculer le taux de reconnaissance. La figure 5(a) montre le taux de reconnaissance obtenu pour différentes courbes faciales pour représenter

un visage. Cette figure montre que le meilleur taux de reconnaissance de 90.4% est obtenu pour six courbes faciales. L'ajout d'autres courbes faciales n'a pas amélioré la performance de notre classifieur. Par la suite, nous utiliserons six courbes faciales pour représenter les visages 3D.

Nous présentons également la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) 5(b) pour évaluer les performances de notre algorithme. Nous avons divisé notre base précédente en trois parties. La première de taille 470 dite base *d'apprentissage*, la seconde de taille 270 dite base *test* dont les visages ont des correspondants dans la base d'apprentissage et enfin une base de taille 30 dite *d'imposteurs* qui n'ont aucun correspondant dans la base d'apprentissage. La courbe ROC est calculée en suivant le même protocole défini dans [14]. Cette courbe montre que si on accepte 1% de faux positif alors on obtient 97%.

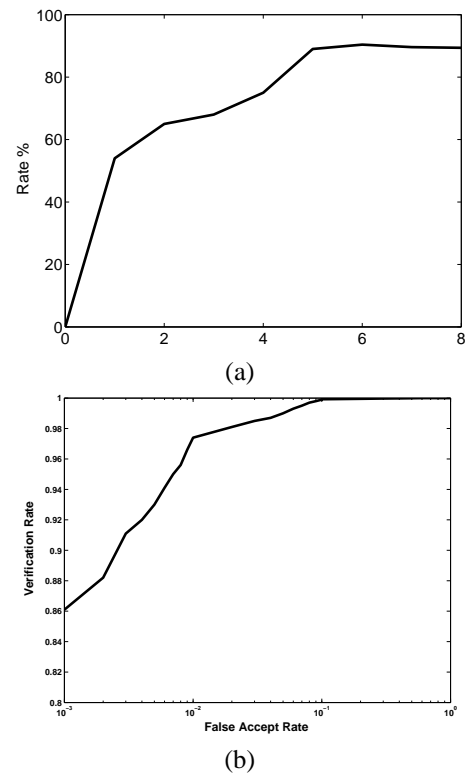


FIG. 5 – (a) Taux de reconnaissance en fonction de  $\lambda$ , (b) La courbe ROC utilisant six courbes faciales pour représenter une surface faciale.

### 4 Conclusion

Dans ce papier, nous avons décrit une approche géométrique pour comparer deux surfaces faciales à travers les formes des courbes faciales. L'idée de base est d'approximer grossièrement la surface faciale  $S$  par un ensemble fini de courbes de niveau, appelés courbes faciales, d'une fonction  $F$  sur  $S$ . En choisissant  $F$  comme

la fonction de profondeur, on utilise des techniques standards d'analyse d'images pour l'extraction des courbes faciales à partir des images de profondeur. Nous comparons les courbes faciales, de même niveau, des surfaces par une analyse de formes décrites dans [12]. Une métrique sur les formes faciales est déduite en cumulant les distances entre les courbes faciales. Les résultats obtenus de reconnaissance et de classification des surfaces faciales sont présentés en utilisant cette métrique.

Nous avons montré que la représentation des surfaces faciales par six courbes faciales permet d'obtenir un taux de reconnaissance de 90.4%.

Des résultats expérimentaux sur la base Notre Dame démontrent l'efficacité de notre approche pour la reconnaissance de visages 3D. En effet, la courbe ROC montre que si on accepte 1% de faux positif alors on obtient 97%. Des travaux sont en cours pour généraliser les résultats obtenus dans ce papier au cas où les surfaces sont représentés par un ensemble de courbes 3D [13].

## Références

- [1] C. Samir, A. Srivastava, and M. Daoudi. Automatic 3D Face Recognition Using Shapes of Facial Curves. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* To appear 2006
- [2] C. Samir, M. Daoudi and J.P Vandeborre Automatic 3D face recognition using topological techniques. *IEEE ICME 2005*
- [3] A. B. Moreno, A. Sanchez, J. F. Velez, and F. J. Diaz *Face recognition using 3D surfaces-extended descriptors, IMVIP 2003*
- [4] J. Lee and E. Milios Matching Range images for Human Faces *Proceedings of the International Conference on Computer Vision pp. 722-726 1990*
- [5] Y. Chen and G. Medioni Object Modeling by Registration of Multiple Range Images *Proceedings of the International conference on Robotics and Automation, 1991*
- [6] C. Beumier and M. Acheroy. Automatic face authentication from 3D surface. In *British Machine Vision Conference, 1998.*
- [7] T. Maurer, D. Guigonis, I. Maslov, B. Pesenti, A. Tsaregorodtsev, D. West and G. Medioni. Performance of Geometrix ActiveID<sup>TM</sup> 3D Face Recognition Engine on the FRGC Data. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition - Workshops*, page 154, 2005.
- [8] A. M. Bronstein, M. M. Bronstein, and R. Kimmel. Three-dimensional face recognition. *International Journal of Computer Vision*, 64(1) : 5–30, 2005.
- [9] K. Chang, K. W. Bowyer, and P. Flynn. A survey of approaches and challenges in 3D and multi-modal 3D+2D face recognition. *Computer Vision and Image Under.*, 101(1) :1–15, 2006.
- [10] X. Lu and A. K. Jain. Matching 2.5D Face Scans to 3D Models. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(1) :31–43, 2006.
- [11] P. W. Hallinan, G. G. Gordon, A. L. Yuille, P. Giblin, and D. Mumford. *Two- and Three-Dimensional Patterns of Face*. A. K. Peters, 1999.
- [12] E. Klassen, A. Srivastava, W. Mio, and S. Joshi. Analysis of planar shapes using geodesic paths on shape spaces. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(3) :372–383, March, 2004.
- [13] A. Mennucci, A. Yezzi. Metrics in the space of curves. *Preprint, Scuola Normal Superior*, 2004.
- [14] P. Grother, R. Micheals and P. J. Phillips *Face Recognition Vendor Test 2002 Performance Metrics Fourth International Conference on Audio-Visual Based Person Authentication, June 2003*