

Reconnaissance des Visages 3D par les Graphes de Reeb

Chafik Samir

Jean-Philippe Vandeborre

Mohamed Daoudi

MIIRE – GET / INT / LIFL UMR CNRS-USTL 8022
ENIC Télécom Lille 1
Cité Scientifique, rue G. Marconi
59658 Villeneuve d'Ascq cedex, France
{chafik, vandeborre, daoudi}@enic.fr

Mots clefs : Visages 3D, graphe de Reeb multiresolution, déformation, calcul de similarité, comparaison de graphes.

Résumé

Dans cet article, nous utilisons l'information topologique des surfaces pour la reconnaissance de visage humain. Nous proposons une nouvelle méthode pour la représentation de visages tridimensionnels sous la forme de graphes topologiques. Une analyse précise de la surface est effectuée dans un premier temps par la détection automatique de composantes connexes, puis dans un second temps par la construction du graphe topologique correspondant, qui capture les variations topologiques significatives du visage. Le calcul de similarité entre deux visages tridimensionnels est réalisé au travers d'une démarche multirésolution qui préserve la consistance des structures de graphe, ce qui aboutit à la mise en correspondance entre des sous-parties des deux visages. Des expérimentations menées sur une base de 144 objets tridimensionnels déformés illustrent l'efficacité de notre approche.

Mots clefs

Visages 3D, graphe de Reeb multiresolution, déformation, calcul de similarité, comparaison de graphes.

1 Introduction

La reconnaissance automatique de visage humain basée sur le traitement des images 2D s'est bien développée dans les dernières années, et plusieurs techniques ont été proposées. Malgré l'avancement de la recherche réalisé durant ces trois dernières décennies, la reconnaissance robuste de visage reste très difficile. Les méthodes actuelles sont efficaces lorsque les conditions de prise de vue sont très bien contrôlées. En effet, la variation de luminosité ou le changement de prise de vue causent des problèmes sérieux pour de nombreux systèmes de reconnaissance existants. Le modèle 3D permet une meilleure information sur les caractéristiques du visage humain dans l'espace 3D [1] et évite les problèmes liés aux conditions de lumière.

Récemment, plusieurs méthodes basées sur la courbure ont été présentées. Dans son travail, Gordon [2] commence par une segmentation basée sur le signe des valeurs de la courbure moyenne et gaussienne. Des régions telles que le nez, les yeux et les vallées obtenues, sont calculées par une segmentation appropriée, et sont utilisées pour recaller l'image dans une pose standard.

Moreno et al. [3] extraient des caractéristiques des régions et des lignes d'intérêt, et appliquent un regroupement en utilisant une comparaison de vecteur de caractéristiques en utilisant la méthode de distance euclidienne minimale (MED).

En utilisant le signe des valeurs de la courbure moyenne et gaussienne, Lee et Milois [4] segmentent les régions convexes de l'image de profondeur. Ils créent une image gaussienne étendue (EGI) pour chaque région convexe. Une comparaison entre l'image requête et les images du système est établie par corrélation des EGIs. Un algorithme de comparaison de graphe intégrant les contraintes relationnelles est utilisé pour établir une comparaison totale de l'image requête avec les images du système. Les régions convexes comportent un changement faible sur le maillage, tandis que les propriétés géométriques des autres régions sont sensibles à l'expression faciale, ce qui donne à cette approche une possibilité d'éviter les problèmes de reconnaissance dues à la déformation en général et à l'expression faciale en particulier.

Blanz et al. [5] présentent un système qui combine les modèles 3D déformables et la simulation d'infographie générée par la projection et l'éclairage. Leur algorithme estime la forme 3D, la texture et les paramètres importants de la scène à partir d'une seule image de la personne.

Srivastava et al. [6] présentent une méthode efficace de reconnaissance de visage à partir de son image de profondeur. Ils utilisent une comparaison de quelques aspects de la forme faciale par une analyse d'image, rechercher un sous espace optimal en se basant sur l'algorithme du gradient stochastique appliqué sur une 2-variété de Grassman. Dans [7] un minimum de trois points est nécessaire pour établir un alignement de la surface du visage 3D, les points

les plus importants choisis dans ce travail sont le nez, un point sur les yeux et d'autres points. Les auteurs ont utilisé l'index de courbure sur le maillage pour l'extraction de ces points. Après l'alignement, la transformation rigide est estimée par l'algorithme ICP. Des résultats obtenus avec cette méthode sur une base de 18 modèles sont présentés.

Les déformations dues à l'expression faciale du visage humain font que celui-ci ne peut être considéré comme un objet rigide. Les méthodes classiques de comparaison des surfaces, basées sur les transformations euclidiennes, ont essayé de maximiser quelques critères de similarité qui convenaient mieux à un objet rigide. Dans ce papier nous présentons une méthode permettant de comparer deux visages 3D, en combinant en même l'information topologique et l'information géométrique. Cette méthode est basée sur les graphes de Reeb. Dans les sections 2 et 3, nous présentons les fondement théoriques des graphes de Reeb. Nous proposons leur application pour la résolution du problème de la similarité de visages 3D. La section 4 présente l'algorithme qui compare deux visages 3D en se basant sur les graphes de Reeb. Dans la section 5, des résultats expérimentaux sur une base de 144 modèles déformés sont présentés.

2 Similarité globale et locale

Pour exploiter les propriétés globales et locales simultanément du visage 3D, nous souhaitons extraire une représentation compacte et pertinente du visage 3D. Nous voulons la calculer d'une manière automatique et robuste sur une base de données de visages 3D.

Pour respecter ces contraintes, nous proposons l'utilisation du graphe de Reeb topologique sur un visage 3D comme clé de recherche. Cette méthode à l'avantage de localiser les points du maillage ayant un changement topologique pertinent qui correspondent visuellement à des régions importantes sur la surface, ils sont généralement les points critiques. Ce qui permet à présenter la surface globale par son graphe de Reeb, ainsi la courbure est calculée et ajoutée comme attribut au nœud correspondant. La méthode de comparaison présentée dans la section 4 nous permettra de calculer la similarité entre deux modèles de la base en tenant compte des informations locales et globales extraites.

3 Graphe de Reeb

Le terme graphe de Reeb provient du mathématicien Georges Reeb qui fut le premier à proposer cette manière d'exprimer l'évolution des lignes de niveaux d'une fonction f définie et continue sur une surface M [8]. Un graphe de Reeb est composé de nœuds, correspondant, aux points critiques de la fonction f sur M et d'arêtes. Une arête entre deux nœuds correspond à deux points critiques a et b , et représente une composante connexe de $x \in M, f(a) \leq f(x) \leq f(b)$ [9].

Définition (ligne de niveau)

Soit f une fonction C^∞ définie sur une surface M . On appelle ligne de niveau correspondant à la valeur a , noté

$f^{-1}(a)$, l'ensemble des points x de M tel que $f(x) = a$.

Définition (graphe de Reeb)

Soit $f : M \rightarrow R$ une fonction définie sur une k -variété compacte. Le graphe de Reeb [8] de f est l'espace quotient de M par la relation d'équivalence définie par :

$$x_1 \equiv x_2$$

\leftrightarrow

$f(x_1) = f(x_2)$ et x_1 et x_2 sont dans la même composante connexe de $f^{-1}(f(x_1))$.

La figure 1 montre un exemple classique de graphe de Reeb calculé sur un bi-tore figure1.(a) en utilisant la fonction de hauteur $f(x, y, z) = z$. Chaque nœud sur la figure1.(c) représente une composante de la figure1.(b) au sens de la fonction de Morse utilisée (ici, une simple fonction de hauteur).

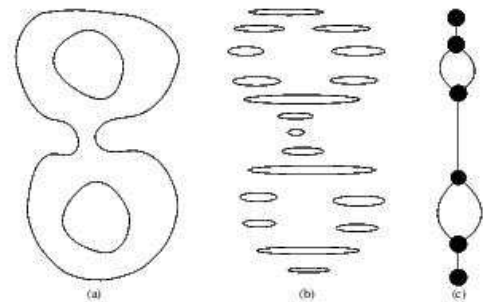


Figure 1 – (a) un bi-tore (b) les composantes connexes associées (c) graphe de Reeb résultant

La multirésolution provient de la discrétisation dichotomique des valeurs de la fonction de Morse f choisie et du regroupement hiérarchique des nœuds du graphe de Reeb obtenus à chaque résolution.

3.1 Choix de la fonction de Morse

Pour la construction du graphe de Reeb sur une surface S nous avons besoin d'une fonction de Morse définie sur S et vérifiant toutes les propriétés de la définition [8]. Plusieurs méthodes peuvent être choisies en fonction de l'application envisagée :

1. Fonction de distance à un point source [14] la distance est calculée en tout point de la surface à partir du point source, choisie aléatoirement ou en fonction des propriétés de la surface, Cette méthode est coûteuse en temps de calcul est dépendante du point source.
2. Fonction de Hilaga [12], dite géodésique, permet d'assurer l'invariance par rotation, la stabilité et la robustesse contre le bruit, elle nécessite un ajout d'information géométrique pour améliorer la reconnaissance des objets. Elle est très coûteuse en temps de calcul du fait qu'elle utilise l'algorithme de Dijkstra de complexité $O(n^2)$ pour le calcul du plus court chemin .

3. Tarasov [10] propose un algorithme de type itératif pour la construction de graphe pour une fonction de morse quelconque. Comme Lazarus [14], cet algorithme construit progressivement le graphe après avoir étiqueté les sommets de la triangulation. Cette méthode est de complexité d'ordre $O(n \log n)$.
4. Fonction de hauteur utilisée par Biasotti [11] pour représenter et manipuler les surfaces des objets 3D, elle extrait le graphe de Reeb et l'utilise pour la comparaison de deux objets. Elle présente des résultats d'expérimentations sur le terrain géographique et cite plusieurs application envisageables : animation, compression..etc.

Nous avons choisi d'adapter la fonction de hauteur comme fonction de Morse car la donnée visage est comme le terrain géographique possède une orientation qui fait que la hauteur à un sens. Dans le cas des visages 3D scannés l'axe sortant de la surface du visage correspond à l'axe Z.

3.2 Les graphes de Reeb Multiresolution

Le graphe de Reeb multiresolution MRG est obtenu par partitionnement de la surface du visage 3D par des intervalles réguliers de valeurs, et en reliant les composantes connexes de chaque région. Dans chaque intervalle, un nœud est associé à un ensemble de triangles connectés voir figure 1.

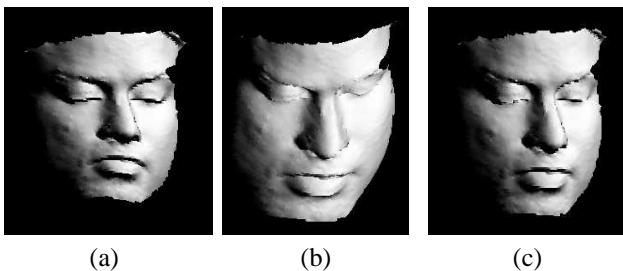
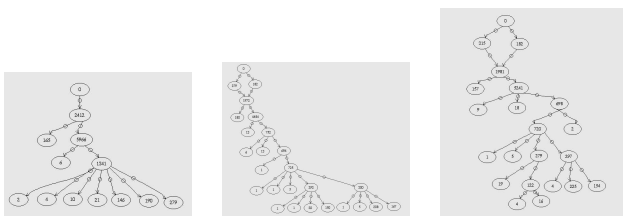


Figure 2 – Trois visages déformés de la même classe.



niveau 1 de fig.2(c) niveau 3 de fig.2(b) niveau 3 de fig.2(c)

Figure 3 – MRGs correspondants à la figure 2.

Le nombre N de composantes connexes obtenues sur la surface du visage 3D est choisi en fonction du niveau l de multirésolution vérifiant la relation $N = 2^l$. La figure 3 montre deux MRGs de niveau 1 et 3 calculés respectivement sur la surface du même visage 3D fig. 2(b).

Si le niveau de résolution est petit, les caractéristiques capturées sur le visage sont globales et donc l'information locale est perdue. Par contre, si le niveau de résolution est trop élevé, le graphe correspondant comprend trop de détails et il serait donc difficile de faire de la reconnaissance. D'après l'ensemble de nos expériences que nous avons menées, nous avons déduit que le niveau 5 est celui qui donne les meilleurs résultats.

Pour le calcul du graphe de Reeb Multirésolution sur un modèle de la base des visages 3D notre algorithme se décompose en 6 étapes :

1. subdivision de la surface selon la résolution maximale du graphe souhaitée ;
2. calcul des valeurs de la fonction de morse pour chaque point du maillage ;
3. création des intervalles pour la résolution voulue ;
4. reconstitution des composantes connexes ;
5. création des liens de parenté entre les nœuds ;
6. fusion des nœuds des branches du graphe ou aucun changement topologique n'est observé.

3.3 Invariance à la taille

Quelques approches de reconnaissance du visage 3D ont relevé le problème de la variation de la taille du visage scanné [1]. Dans ce papier nous présentons une méthode pour résoudre ce problème : nous choisissons de construire notre graphe MRG en calculant les intervalles de multirésolution d'une façon proportionnelle à la différence des valeurs Z_{min} et Z_{max} du maillage. L'intervalle commence à Z_{min} et s'arrête à Z_{max} , le même visage avec différentes tailles aura le même nombre de composantes connexes. Dans la figure 1 nous avons présenté des visages 3D déformés et leurs MRG correspondant, nous constaterons que les MRGs sont similaires même si les tailles sont différentes.

4 Comparaison de graphes

Une fois les graphes de Reeb obtenus, nous disposons pour chaque visage, d'une représentation topologique à niveaux de résolution croissants. L'étape suivante est l'exploitation de ces graphes afin de mettre en oeuvre le processus de reconnaissance. Cette étape consiste à construire une fonction qui traduit les similarités entre deux éléments différents de la base.

La stratégie de comparaison de deux MRGs est basée sur la détection des nœuds ayant des configurations topologiques similaires en terme de connections avec leurs voisinages et de leurs relations père-fils. L'objectif est de maximiser le nombre des nœuds correspondants. Pour cela un ensemble de critères topologiques consistants est établi. Les paires de nœuds vérifiant ces critères sont candidats à une comparaison, une fois la liste des nœuds complète une fonction est nécessaire pour calculer la similarité entre deux visages 3D.

La fonction de comparaison utilisée dans [12] a été enrichie par la courbure moyenne comme propriété géométrique locale de la surface.

Notons F_1 et F_2 deux visages 3D, la fonction utilisée pour calculer leur similarité est obtenue par sommation de la fonction de similarité des paires de nœuds comparés :

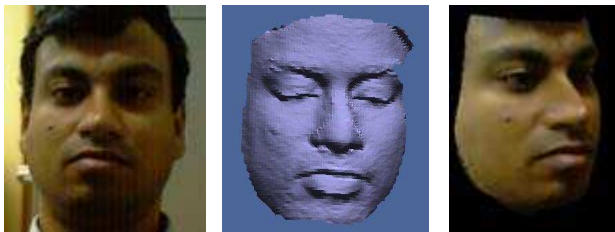
1. réflexivité $SIM(F_1; F_1) = 1$
2. positivité $SIM(F_1; F_2) \geq 1$
3. symétrie $SIM(F_1; F_2) = SIM(F_2, F_1)$

5 Résultats expérimentaux

Nous présentons dans un premier temps notre base de modèles de 144 visages 3D ainsi que le pré-traitement nécessaire à la bonne exploitation de celle-ci. Nous expliquerons ensuite notre algorithme. Enfin, les expériences et les résultats obtenus seront discutés et commentés.

5.1 La base de modèles

Notre base de données a été construite à partir de douze visages 3D contenus dans la base des modèles utilisés dans [6]. Cette base a été créée par un scanner Minolta 3D Digitizers. Douze transformations différentes ont été utilisées pour générer des déformations sur chaque modèle. Les déformations [7] ont été appliquées pour créer les différents changements du maillage de visage : bend, twist, stretch, dent, etc. Nous avons donc construit une base de 144 modèles réparties sur douze classes. La majorité des visages utilisés ont une grande résolution (40 000 sommets en moyenne). Le figure 4 montre des exemples de visages scannés.



(a) image faciale (b) maillage 3D (c) maillage texturé

Figure 4 – Exemple des visages scannés de notre base.

5.2 Pré-traitement

La difficulté principale dans l'application des algorithmes basés sur les outils topologiques est la nécessité d'adaptation des concepts développés pour les surfaces 2-variétés lisses [9] aux surfaces triangulées, pas nécessairement continues.

A cause de l'acquisition par les scanners 3D, la plupart des visages obtenus par les scanners contiennent des trous sur le maillage, formés par l'absence des facettes et ont des ensembles de polygones complètement disjoints du reste du maillage, des problèmes d'orientation et d'irrégularité des tailles des facettes. Afin de remédier aux problèmes cités

précédemment et de permettre la construction d'un système de reconnaissance efficace. L'ensemble des pré-traitements utilise les fonctions et les structures de la bibliothèque libre GNU Triangulated Surface GTS (développé librement pour offrir des outils de traitement des surfaces triangulées).

5.3 Algorithme principal

On note f la fonction de Morse choisie sur la surface d'un modèle de la base pour construire le graphe de Reeb, notre algorithme se décompose en 6 étapes :

1. Pré-traitement de la surface du visage 3D pour remplir les trous et assurer les propriétés topologiques du maillage du visage scanné.
2. Raffinement du maillage avant chaque étape de calcul pour assurer la consistance topologique de la surface.
3. Calcul des valeurs de la fonction f sur le maillage pour extraire ses composantes connexes.
4. Construction du MRG basé sur la fonction f pour établir les relations entre les nœuds et enrichir chaque composante connexe par les courbures moyennes de chaque nœuds correspondant.
5. Comparaison des MRGs en utilisant la méthode décrite dans la section (num comparaison) pour calculer la similarité entre les deux visages.
6. Construction de la matrice de similarité (figure 5).

5.4 Matrice de similarité

La technique de graphe de Reeb multirésolution est appliquée sur tous les modèles de la base. Ensuite une comparaison de similarité deux à deux des graphes correspondants est établie. En se basant sur ces résultats, nous avons construit une matrice de similarité, voir la figure 5.

Sur la diagonale de la matrice les régions foncées montrent la bonne reconnaissance au sein de la même classe. Le reste des régions sur la même ligne évalue la similarité du visage avec les éléments des autres classes. Si l'algorithme n'est pas sensible à la différence ($Z_{max} - Z_{min}$) la similarité est maximale au sein de la même classe.

Pour donner une idée du temps de calcul du graphe, un graphe de niveau 2 demande moins de 2 secondes pour être calculé et un graphe de niveau 5 moins de 6 secondes sur des visages 3D comportant en moyenne 40000 sommets. La comparaison de deux visages tridimensionnels est faite en moins de 2 millisecondes sur un PC équipé du processeur Intel Pentium 4 cadencé à 3Ghz.

6 Conclusions et Discussion

Dans ce papier nous avons présenté une approche topologique basée sur la théorie de Morse et sur le graphe de Reeb multirésolution MRG pour construire un système de reconnaissance de visage 3D. D'autres caractéristiques géométriques ont été ajoutées pour améliorer la fonction de similarité des graphes. Les résultats expérimentaux montrent que notre méthode donne un résultat satisfaisant pour la reconnaissance du visage 3D sur une base

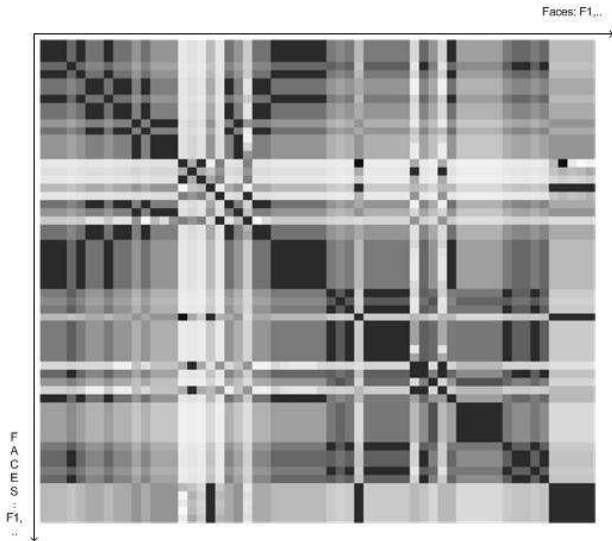


Figure 5 – Matrice de similarité : les régions sombres présentent une similarité élevée.

de données de 144 modèles déformés. Il est très important de signaler que le temps d'extraction du graphe MRG est minimal, ainsi que le temps de comparaison. Par conséquent, notre système de reconnaissance peut être facilement adapté pour des applications interactives.

7 Remerciements

Nous tenons à remercier A. Srivastava pour l'utilisation des figures 2 et 4 et pour ses discussions très utiles. Nous remercions Laboratory for Computational Vision, Florida State University, pour leur base de données.

8 Bibliography

Références

- [1] K. W. BOWER, K. CHANG, P. FLYNN, *A survey of approaches to three-dimensional face recognition*, ICPR 2004 .
- [2] G. GORDON, *Face recognition based on depth maps and surface curvature*, GMCV 1991 .
- [3] A. B. MORENO, A. SANCHEZ, J. F. VELEZ, F. J. DIAZ, *Face recognition using 3D surfaces-extended descriptors*, IMVIP 2003 .
- [4] J. C. LEE, E. MILIOS, *Marching range images of human faces*, ICCV 1990 .
- [5] V. BLANZ, T. VETTER, *Face recognition based on fitting a 3D morphable model*, IEEE trans. on PAMI 2003 .
- [6] A. SRIVASTAVA, X. LIU, C. HESHER, *Face recognition using optimal linear components of range images*, Journal of Image and Vision Computing 2003 .
- [7] X. LU, D. COLBRY, A. JAIN , *Three dimensional model based face recognition*, ICPR 2004.
- [8] G. REEB, *Sur les points singuliers d'une forme de pfaff complètement intégrable*, Comptes rendus de l'académie des sciences de paris 1946 .
- [9] A. GRAMAIN , *Topologie des surfaces*, Collection Sup. Press Universitaires de France 1971 .
- [10] S. P. TARASOV, M. N. VYALYI, *Construction of countour trees in 3D in $O(n\log(n))$ steps*, ACM SCG 1998 .
- [11] S. BIASOTTI, S. MARINI, G. PATENÉ, *An overview on propreties and efficacy of topological skeletons in shape modling*, SMI 2003 .
- [12] T. HILAGA, Y. SHINAGAWA, T. KOHMURA, T. KUNII, *Topology matching for fully automatic similarity estimation of 3D shapes*, ACM SIGGRAPH 2001 .
- [13] X. LU, A. K. JAIN, *Deformation analysis for 3D face matching*, IEEE WACV 2005 .
- [14] F. LAZARUS, A. VERRROUST, *Level Set Diagrams of Polyhedral Objects*, Rapport interne de l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique n°3546, 1999 .