

Description invariante d'objets 3D représentés par des images géométriques

M. Chakchouk

F. Chaieb

RACINES (Représentation, Analyse et Communication d'Images Numériques)

Centre d'Etudes et de Recherche des Télécommunications

Cité Technologique des Communications, El Ghazela, BP 111, 2088 Ariana - Tunisie

{chakchouk.moez, faten.chaieb}@cert.mincom.tn

Résumé

Dans cette communication, une nouvelle description d'un objet 3D est proposée en utilisant une représentation du maillage triangulaire par une image couleur 2D appelée image géométrique. Nous considérons l'image géométrique associée aux normales où chaque pixel couleur correspond aux coordonnées de la normale en un point de la surface. Des descripteurs d'objets 3D invariants aux similitudes sont proposés en utilisant les invariants de moments calculés sur les images géométriques correspondantes.

Mots clefs

Description invariante, image géométrique, paramétrisation de surfaces.

1 Introduction

Le développement continu des techniques multimédias et de la réalité virtuelle a suscité un intérêt croissant pour l'utilisation de contenus tridimensionnels (3D) dans de nombreuses applications telles que l'imagerie médicale, les jeux, l'archéologie, etc. Ces données 3D sont généralement représentées par des maillages polygonaux définis par un ensemble de sommets et de facettes. L'expansion de ces données 3D requiert des méthodes efficaces et rapides d'indexation et de recherche par le contenu. Pour cela, des descripteurs de formes peuvent être utilisés pour fournir une description unique, compacte et significative du contenu d'un objet 3D. Ces descripteurs doivent vérifier les propriétés d'invariance par rapport à une classe de transformations, de discrimination, de stabilité et de complétude [1]. Dans la littérature, plusieurs descripteurs ont été proposés en indexation de base de données d'objets 3D. Dans le contexte du standard MPEG7, un objet 3D est décrit par un ensemble de primitifs bidimensionnels (2D). Ces primitifs sont calculés à partir des différentes projections de l'objet obtenues en considérant des angles de vues différents. L'efficacité de ces méthodes de description appelées 2D/3D dépendent du nombre de ces projections [2]. D'autres méthodes ont proposé des descripteurs de formes 3D calculés à partir d'une représentation volumique associée à la représentation surfacique de l'objet. Nous citons en particulier,

les descripteurs utilisant la transformée de Fourier 3D [3], les moments 3D [4, 5] et l'analyse harmonique [6].

Par ailleurs, un descripteur de forme 3D intrinsèquement lié à la géométrie locale de la surface d'un objet 3D a été proposé dans [7]. Ce descripteur appelé spectre de forme 3D (SF3D), est invariant aux transformations géométriques. Cependant, il n'est pas robuste aux variations topologiques. Le descripteur de Hough 3D optimal (DH3DO) a été proposé pour remédier à cet inconvénient [7].

Dans cette communication, un maillage triangulaire 3D est représenté par une structure régulière 2D appelée image géométrique [8]. Cette représentation est obtenue en appliquant une paramétrisation de surfaces triangulaires. Comme cette paramétrisation suppose que les maillages sont homéomorphes à un disque, une procédure de coupe est requise pour les surfaces fermées. Nous proposons d'utiliser l'image géométrique d'un objet 3D afin de ramener le problème de description 3D à un problème 2D. Cette nouvelle description vérifie les propriétés d'invariance aux similitudes et de complétude. Elle est obtenue en calculant les invariants de moments de l'image géométrique associée aux normales de l'objet 3D.

Dans la deuxième section, le principe de la paramétrisation de maillages triangulaires est rappelé. La section 3 décrit brièvement la méthode de construction de l'image géométrique d'un objet 3D. La description invariante d'un objet 3D en utilisant l'image géométrique fera l'objet de la quatrième section. Quelques résultats expérimentaux seront ensuite présentés. Enfin, nous concluons cette contribution en donnant les perspectives de ce travail.

2 Paramétrisation de maillages

La paramétrisation d'une surface Γ de \mathbb{R}^3 homéomorphe à un disque est une fonction bijective mettant en correspondance la surface avec un domaine D de \mathbb{R}^2 , appelé domaine paramétrique. Elle est définie par :

$$\Psi : \begin{array}{l} \mathcal{D} \longrightarrow \mathbb{R}^3 \\ (u, v) \longmapsto (x(u, v), y(u, v), z(u, v))^t \end{array} \quad (1)$$

La fonction inverse $\Phi = \Psi^{-1}$, est appelée paramétrisation inverse de la surface Γ .

Si la surface est approchée par un maillage triangulaire 2-manifold noté \mathcal{T}_S où S est un ensemble de points extraits de la surface, la paramétrisation inverse Φ sera évaluée aux sommets S du maillage en considérant une fonction discrète φ définie par :

$$\begin{aligned} \varphi : S &\longrightarrow \mathbb{R}^2 \\ s_i &\longmapsto (u_i, v_i) \end{aligned} \quad (2)$$

La fonction Φ peut être alors définie par morceaux comme l'interpolation linéaire de φ sur chacun des triangles $T = [s_i, s_j, s_k]$ de \mathcal{T}_S .

Plusieurs méthodes ont été introduites dans la littérature pour déterminer une paramétrisation des maillages triangulaires [9]. Le calcul de cette paramétrisation par des méthodes linéaires consiste à la considérer comme solution d'un système d'équations linéaires. En effet, il faut choisir tout d'abord pour chaque sommet s du bord du maillage un ensemble de points $\Phi(s)$ transformant le bord en un polygone de \mathbb{R}^2 . Ensuite, il faut déterminer pour tout sommet interne, un ensemble de réels strictement positifs pondérant chaque arête concourante à s et dont la somme est égale à 1. L'image de chaque point interne s par Φ est la solution unique d'un système d'équations linéaires donné par :

$$\Phi(s) = \sum_{s_k \in V(s)} \lambda_{s,s_k} \Phi(s_k), \quad \forall s \in \mathcal{S}_I, \quad (3)$$

où \mathcal{S}_I est l'ensemble des sommets internes et λ_{s,s_k} les poids pondérant chaque arête concourante au sommet s .

La résolution de ce système requiert un choix judicieux des pondérations qui déterminent la nature et les caractéristiques de la paramétrisation. Si les poids sont constants pour chaque sommet, l'image de chaque sommet par la paramétrisation est le barycentre de ses voisins. Il s'agit d'une paramétrisation uniforme. Dans [10], les poids sont choisis de telle sorte qu'ils conservent les angles des triangles.

3 Image géométrique

L'idée de base de cette représentation consiste à utiliser la paramétrisation de surfaces couramment utilisée dans les problèmes de plaquage de texture pour ramener un maillage triangulaire irrégulier 3D à une structure 2D régulière. Comme précisé dans la section précédente, la paramétrisation s'applique uniquement à des surfaces homéomorphes à un disque. Par ailleurs, il est bien connu que toute surface fermée peut être transformée en une surface homéomorphe à un disque en la coupant suivant un ensemble approprié d'arêtes. Une méthode introduite dans [8] utilise un algorithme itératif pour déterminer cet ensemble d'arêtes en minimisant l'étirement des triangles dans le domaine paramétrique. L'étirement d'un triangle T est défini par [11] :

$$\mathcal{E}(T) = \sqrt{\frac{\alpha^2 + \beta^2}{2}} \quad (4)$$

où α et β sont les valeurs singulières du Jacobien de la paramétrisation Ψ . Dans ce travail, nous utilisons la para-

métrisation de Floater qui permet de conserver la forme des triangles du maillage dans le domaine paramétrique [10]. L'image géométrique I est obtenue en discrétisant le domaine paramétrique D par une grille uniforme de taille $m \times n$. Chaque pixel couleur (i, j) est défini par :

$$I(i, j) = (R(i, j), V(i, j), B(i, j))^t = \Psi(i, j), \quad (5)$$

où R , V et B sont respectivement les composantes rouge, vert et bleue de l'image I . De la même manière, d'autres images géométriques associées aux attributs du maillage 3D peuvent être définies. Dans cette contribution, nous avons utilisé les images géométriques associées aux normales du maillage 3D.

4 Description invariante

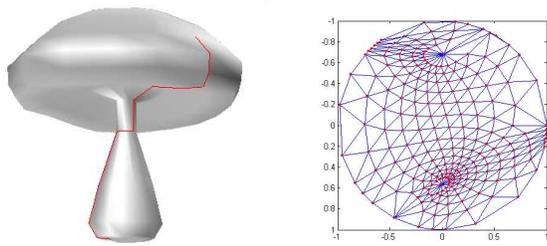
La description invariante aux similitudes d'un objet 3D, en utilisant l'image géométrique, consiste tout d'abord à caractériser la transformation entre deux images géométriques associées à deux objets 3D obtenus à une similitude près et à extraire ensuite les primitifs invariants par rapport à cette transformation. La méthode de paramétrisation utilisée et le choix de l'attribut du maillage 3D à partir duquel l'image géométrique est construite caractérisent le type de cette transformation.

Dans ce contexte, nous avons utilisé la paramétrisation de Floater qui permet de conserver les angles des triangles dans le domaine paramétrique. Cette propriété assure que les paramétrisations de deux maillages, obtenus à une similitude près, sont à une rotation près. En effet, cette rotation résulte du changement du point de départ lors du parcours du bord du maillage. Par conséquent, les invariants d'images couleurs par rapport aux transformations euclidiennes peuvent être utilisés pour décrire les images géométriques associées aux normales. Dans cette communication, nous proposons d'utiliser les invariants de moments largement utilisés en indexation d'images [1].

Par ailleurs, les opérations de simplification de maillage n'engendrent pas une transformation euclidienne entre les images géométriques. Par conséquent, les moments calculés sur les images géométriques ne semblent pas être appropriés pour décrire un objet 3D d'une manière invariante par rapport à ces transformations.

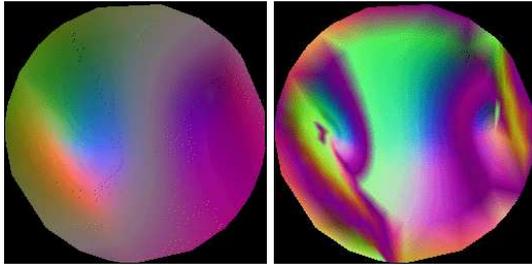
5 Résultats expérimentaux

Dans les figures 1 et 2, nous illustrons les différentes étapes requises pour la construction des images géométriques respectivement à partir d'un maillage fermé (*mushroom*) et un maillage avec bord (*distcap*). Les images géométriques présentées dans cette section sont de taille $256 * 256$. La figure 3 montre que la transformation entre deux images géométriques issues de deux objets obtenus à une similitude près est une rotation. Les invariants de moments sont appropriés pour décrire ces images par rapport à ce type de transformation. La distance euclidienne entre les deux vecteurs d'invariants calculés à partir de ces deux images est théoriquement nulle. En pratique, elle est de l'ordre



(a)

(b)



(c)

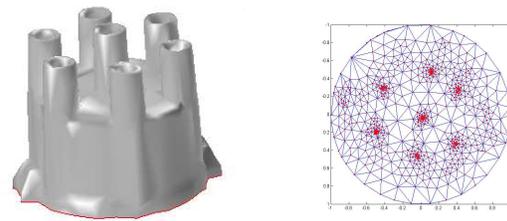
(d)

Figure 1 – Les différentes étapes de construction des images géométriques de l'objet mushroom. (a) la ligne en rouge représente aux arêtes de la coupe. (b) la paramétrisation de Floater du maillage après l'avoir coupé. (c) l'image géométrique. (d) l'image géométrique associée aux normales du maillage.

de 10^{-7} . Les descripteurs des objets 3D proposés dans cette communication ne sont pas invariants par rapport aux opérations de simplification de maillage. La figure illustre les images géométriques associées à différentes résolutions d'un même objet 3D (*epcot*).

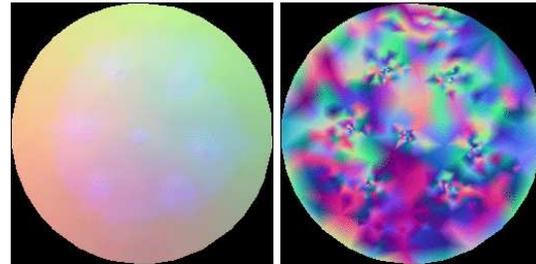
6 Conclusion et perspectives

Dans cette communication, les objets 3D sont représentés par des images couleurs 2D appelées images géométriques. Cette représentation est issue d'une paramétrisation des maillages triangulaires 3D. Une description invariante par rapport aux similitudes des objets 3D a été proposée en utilisant cette nouvelle représentation. Cependant, les descripteurs de moments invariants par rapports aux transformations euclidiennes induites par les transformations de similitudes entre les objets 3D ne sont pas adaptés aux opérations de simplification de maillages 3D. En effet, la transformation entre les images géométriques engendrée par ces opérations entre objets 3D ne sont pas des transformations euclidiennes globales. Il serait alors intéressant de chercher à caractériser cette transformation pour pouvoir déterminer les descripteurs invariants associés. De plus, il est important de remarquer que si on applique deux opérations de coupe différentes sur un même objet 3D, les images géométriques associées seront différentes. Dans nos futurs travaux nous essayerons de trouver une description invariante à la coupe requise pour que la surface soit homéomorphe à disque.



(a)

(b)



(c)

(d)

Figure 2 – Les différentes étapes de construction des images géométriques de l'objet distcap. (a) la ligne en rouge représente aux arêtes du bord. (b) la paramétrisation de Floater du maillage. (c) l'image géométrique. (d) l'image géométrique associée aux normales du maillage.

métriques associées seront différentes. Dans nos futurs travaux nous essayerons de trouver une description invariante à la coupe requise pour que la surface soit homéomorphe à disque.

Références

- [1] F. Ghorbel, M. Chakchouk, et S. Derrode. Comparaison de descripteurs locaux-globaux pour l'indexation d'images à niveaux de gris. Dans *Compression et Représentation des Signaux Audiovisuels (CORESA'00)*, Poitiers, France, 19-20 octobre 2000.
- [2] T. Zaharia et F. Prêteux. 3D versus 2D/3D shape descriptors : A comparative study. Dans *SPIE Conference on Image Processing : Algorithms and Systems III*, volume 5298, San Jose, USA, 18-22 january 2004.
- [3] D. V. Vranic et D. Saupé. 3d shape descriptor based on 3d fourier transform. Dans *EURASIP Conference on Digital Signal Processing for Multimedia Communications and Services (ECMCS 2001)*, Budapest, Hungary, 11-13 september 2001.
- [4] C. Zhang et T. Chen. Efficient feature extraction for 2D/3D objects in mesh representation. Dans *International Conference on Image Processing (ICIP'01)*, Thessaloniki, Greece, 7-10 october 2001.

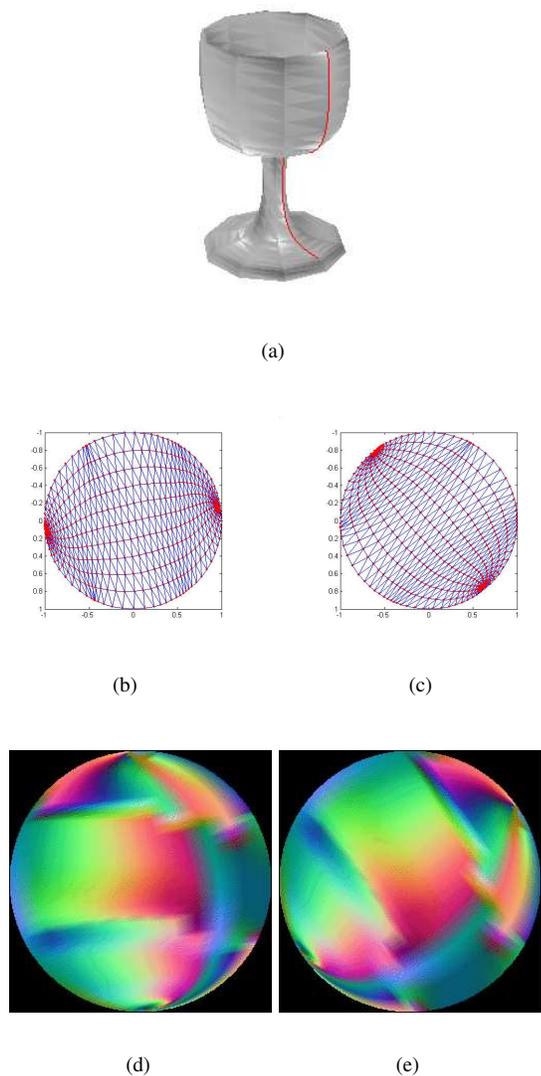


Figure 3 – Deux images géométriques associées aux normales de l'objet goblet et son transformé par une similitude.

- [5] M. Novotni et R. Klein. 3D Zernike descriptors for content based shape retrieval. Dans *ACM Symposium on Solid Modeling and Applications*, pages 216–225, Seattle, USA, 16–20 june 2003.
- [6] D. Vranic et J. Saupe, D. and Richter. Tools for 3d-object retrieval : Karhune-loeve transform and spherical harmonics. Dans *IEEE Workshop Multimedia Signal Processing*, Cannes, France, 3–5 october 2001.
- [7] F. Prêteux T. Zaharia. Indexation de maillages 3D par descripteurs de forme. Dans *Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA'2002)*, pages 48–57, Angers, France, 8–10 janvier 2002.
- [8] X. Gu, S. J. Gortler, et H. Hoppe. Geometry images. Dans *International Conference on Computer Gra-*

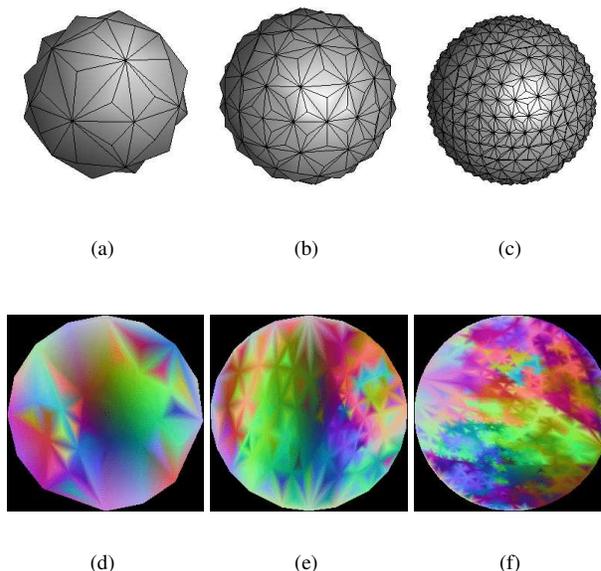


Figure 4 – Différentes résolutions de l'objet epcot et leurs images géométriques associées aux normales.

- phics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'02)*, pages 355–361, San Antonio, USA, 21–26 july 2002.
- [9] M. S. Floater et K. Hormann. Surface parameterization : a tutorial and survey. to appear in *Advances on Multiresolution in Geometric Modelling*, N. Dodgson, M. S. Floater, and M. Sabin (eds.), Springer-Verlag.
- [10] M. Floater. Parametrisation and smooth approximation of surface triangulations. *Computer Aided Geometric Design*, 14(4) :231–250, 1997.
- [11] P. V. Sander, S. J. Gortler, J. Snyder, et H. Hoppe. Signal-specialized parametrization. Dans *Eurographics Workshop on Rendering*, 2002.