

Descripteurs locaux-globaux pour l'indexation d'objets tridimensionnels

Oumayma ESSID, Faten CHAIEB, Faouzi GHORBEL

Laboratoire Cristal/ Pôle GRIFT

Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique Manouba 2010, Tunisie

essidoumayma@gmail.com, faten.chaieb@ensi.rnu.tn

faouzi.ghorbel@ensi.rnu.tn

Résumé – Dans cette communication, nous nous intéressons au problème d'indexation d'objets 3D par descripteurs de formes. Dans ce contexte, nous proposons un nouveau descripteur de formes 3D obtenu par coopération de descripteurs globaux et de descripteurs locaux. Les descripteurs locaux sont des points d'intérêts calculés sur la surface externe de la forme. Ces points sont caractérisés par leur robustesse aux changements de la topologie, le remaillage, les isométries et le changement d'échelle. Pour la description globale, nous utiliserons le Spectre de Forme (SF3D) retenu dans MPEG-7. Le SF3D est alors calculé au voisinage de ces points caractéristiques. Le choix du voisinage est un paramètre important dans la définition du nouveau descripteur. Le voisinage autour de chaque point d'intérêt est obtenu par intersection de courbes radiales et de courbes de niveaux. Les résultats expérimentaux, effectués sur les bases de test de SHREC'09 et de SHREC'11 montrent les performances du nouveau descripteur proposé.

Abstract – In this paper, we focus on the problem of 3D object retrieval based on 3D shape descriptors. We propose a framework for constructing 3D shape descriptors. The proposed descriptor is obtained from the cooperation of local and global 3D shape descriptors. The local features are interest points calculated on 3D meshes. These points are characterized by their robustness to changes of topology, remeshing, isometrics and scaling. For the global description, we will deal with 3D MPEG-7 shape descriptor: The 3D Shape Spectrum Descriptore (3D-SSD). This descriptor is computed on an intrinsic interest point neighborhood. In this work, we define such neighborhood as a set of n geodesic level curves and k radial ones. The level curves are obtained using different geodesic distances from each interest point. The experimental results performed on two databases SHREC'09 and SHREC'11, show the performance of the proposed new descriptor.

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 (géométrique et topologique), de discrimination et de stabilité.

Plusieurs descripteurs de formes ont été proposés dans la littérature [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Ces descripteurs permettent de décrire d'une manière locale ou globale la surface externe d'un objet 3D.

Les descripteurs globaux décrivent les propriétés géométriques de l'objet dans son intégralité. Les descripteurs locaux étudient les caractéristiques locales de l'objet. Ces descripteurs sont sen-

sibles aux transformations non rigides des objets 3D. Pour traiter le problème de description des objets non rigides, plusieurs méthodes ont été proposées [6]. La méthode de décomposition spectrale locale par sacs de mots [7] considère un ensemble de points échantillonné uniformément sur la surface à lesquels sont associés des descripteurs de Fourier locales. Ces descripteurs sont calculés sur un voisinage de chaque point en projetant la géométrie sur les vecteurs propres de l'opérateur de Laplace-Beltrami. Le voisinage de chaque point caractéristique p_i est défini par l'ensemble connexe de facettes appartenant à une sphère de centre le point p_i et de rayon r . Ensuite, un dictionnaire visuel est construit en regroupant un grand nombre de descripteurs. Chaque forme 3D est alors décrite par un histogramme des occurrences de ces mots visuels. Ce descripteur est pénalisé par le choix du voisinage qui est sensible aux opérations de remaillage et ne tient pas compte de la nature intrinsèque de la surface de l'objet.

De plus, dans [8], une nouvelle méthode de description intrinsèque d'objets 3D non rigides a été proposée. Elle se base sur une décomposition spectrale de la matrice des distances géodésiques. Elle consiste à choisir un nombre N de points de l'objet puis de calculer la matrice des distances géodésiques entre ces N points. Les k -premières valeurs propres de la

décomposition spectrale de la matrice géodésique sont retenues. Le calcul de ce descripteur est assez complexe $O(kn^2)$ puisque la taille de la matrice géodésique est très grande. Dans ce contexte, nous proposons d'introduire une nouvelle méthode de description d'objets 3D qui calcule des descripteurs globaux au voisinage de chaque point d'intérêt. Nous définissons un voisinage géodésique intrinsèque construit pour chaque point d'intérêt.

2 Approche proposée

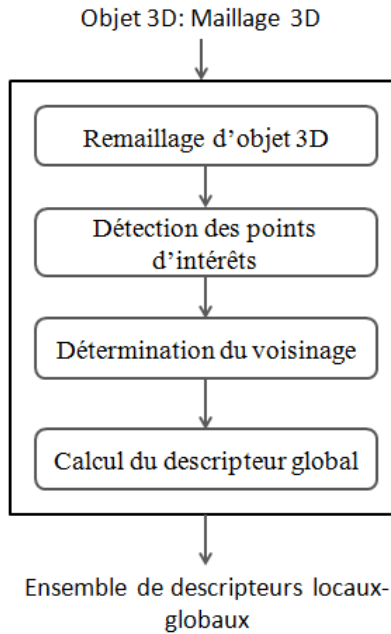


FIGURE 1 – Étapes de l'approche proposée

L'approche proposée est constituée de quatre parties. Comme étape de prétraitement, l'objet 3D est remaillé en effectuant une subdivision des facettes [9]. Ensuite, nous allons calculer les points d'intérêts sur la surface de l'objet. La troisième étape consiste à construire un voisinage géodésique autour des points d'intérêts auxquels nous allons appliquer un descripteur global. Dans ce qui suit, nous détaillerons la notion des points d'intérêts ainsi que le voisinage géodésique.

2.1 Détection des points d'intérêts

La première étape dans le développement de l'approche proposée consiste à détecter les points d'intérêts sur la surface de l'objet 3D. Pour cela, nous avons utilisé le détecteur de Harris 3D [10] qui est une extension de Harris 2D pour les images [11]. Le choix de ce détecteur de points d'intérêts est dû à sa performance en terme de répétabilité pour différentes classes de transformations telles que les transformations affines, topologiques (remaillage, simplification de maillages) et destructive (bruit gaussien).

Les paramètres utilisés dans ce travail sont $\delta = 0.01$ pour le diamètre de la boîte englobante l'objet et 1% comme valeur de seuil au delà de laquelle les points d'intérêts sont sélectionnés.

2.2 Voisinage géodésique

La définition du voisinage autour d'un point d'intérêt est un paramètre important dans la construction du nouveau descripteur de formes. Ce voisinage est composé d'un ensemble de lignes de niveaux et lignes radiales géodésiques calculées par rapport à un point d'intérêt. Pour calculer les lignes de niveaux géodésiques, nous avons utilisé l'algorithme Fast Marching [12, 13]. L'algorithme est présenté comme suit : Pour chaque point d'intérêt P_i , nous calculons l'ensemble des points $\zeta(P_i)$, situés à une distance géodésique r_i de P_i .

$$\zeta(P_i) = \{V_i \mid D(P_i, V_i) = r_i\}$$

où D est la distance géodésique entre P_i et V_i . La propagation de la ligne de niveaux se fait selon l'équation rétro-propagation :

$$\frac{\partial \zeta(P_i)}{\partial r_i} = -\overrightarrow{\nabla D}$$

Les lignes radiales sont calculées entre le point d'intérêt et les points situés sur la dernière courbe de niveaux. En effet, nous choisissons un point de départ aléatoire de la dernière courbe de niveaux γ_n (figure 2.b) puis nous calculons sa longueur définie par :

$$L = \int \left| \frac{d\gamma_n}{dt} \right| dt = \int |\gamma'_n| dt$$

Une fois que la longueur L est calculée, m points sont construits sur la courbe γ_n (figure 2.c) en utilisant un reparamétrage curviligne. Les points sont reliés au point d'intérêt en utilisant le gradient descendant [13].

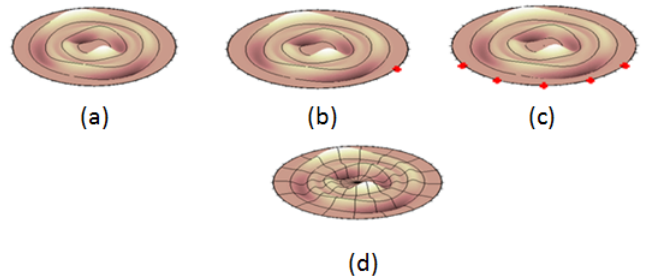


FIGURE 2 – Voisinage géodésique : (a) lignes de niveaux géodésiques (b,c) reparamétrage curviligne de la dernière ligne de niveaux (c) lignes de niveaux et lignes radiales géodésiques.

En pratique nous avons échantillonné le voisinage en utilisant 5 courbes de niveaux et 16 courbes radiales figure 2.d.

Par ailleurs, le voisinage est composé de 5×16 entités obtenues suite à l'intersection des secteurs géodésiques avec les courbes de niveaux.

3 Coopération locale-globale : Mesure de similarité

Dans cette section nous expliciterons les expressions des distances utilisées. Nous avons utilisé deux types de distances. Une distance $d_{g\text{globale}}$ qui permet de calculer la distance entre les descripteurs globaux, ici, le spectre de forme 3D. Elle est définie par l'équation suivante :

$$d_g(\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2) = L_p(\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2) = \left(\sum_{k=1}^N |J_k(\mathcal{O}_1) - J_k(\mathcal{O}_2)|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (1)$$

où $J_k(\mathcal{O}_i)$ le SF3D calculé sur le maillage triangulaire de l'objet 3D \mathcal{O}_i , $i \in 1, 2$ et p est un réel supérieur ou égal à un.

Soient $I(\mathcal{O}_1) = \{I_1^1, \dots, I_N^1\}$ et $I(\mathcal{O}_2) = \{I_1^2, \dots, I_M^2\}$ les ensembles des points d'intérêts calculés respectivement sur les objets 3D \mathcal{O}_1 et \mathcal{O}_2 . Notons par $J_k(I_i^1)$ et $J_k(I_j^2)$ les descripteurs (SF3D) calculés respectivement au voisinage des points d'intérêts I_i^1 et I_j^2 . L'ensemble de ces descripteurs forment un nuage de points dans l'espace des invariants.

Afin de comparer ces deux nuages de points nous proposons d'utiliser la distance de Hausdroff définie par :

$$d_{\mathcal{H}}(\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2) = \max(\rho(\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2), \rho(\mathcal{O}_2, \mathcal{O}_1))$$

où

$$\rho(\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2) = \max_{i=1 \dots N} \min_{j=1 \dots M} (L_p(\mathcal{V}(I_i^1), \mathcal{V}(I_j^2)))$$

. $\mathcal{V}(I_i^1)$ et $\mathcal{V}(I_j^2)$ sont respectivement les voisinages géodésiques des points d'intérêts de I_i^1 et I_j^2 .

Afin de comparer les formes 3D en se basant sur les descripteurs globaux locaux, nous proposons la métrique suivante :

$$\Delta(\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2) = \alpha \times \hat{d}_g(\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2) + \beta \times \hat{d}_{\mathcal{H}}(\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2) \quad (2)$$

où α et β deux reals positifs dont la somme est égale à 1.

Les distances $\hat{d}_g(\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2)$ et $\hat{d}_{\mathcal{H}}(\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2)$ correspondent aux distances normalisées de d_g et $d_{\mathcal{H}}$. En effet, il est bien connu que la distance normalisée définie par :

$$\hat{d} = \frac{d}{1+d}$$

est topologiquement équivalente à celle-ci.

4 Résultats expérimentaux

Nous proposons d'étudier les propriétés topologiques et géométriques de descripteur proposé. Pour une sous base B_0 de SHREC'2010 [14], nous appliquons différentes transformations (isométrie, transformations rigides, topologie, simplification de maillage, échelle, l'ajout du bruit).

Le tableau 1 présente le score Bull-Eye calculé pour les différentes sous bases d'objets 3D. Les résultats obtenus montrent la robustesse du descripteur locale-global proposé aux différentes transformations.

Le tableau 2 présente un deuxième type d'expérimentation qui consiste à comparer différentes mesures de similarités du

TABLE 1 – Propriétés du descripteur local-global

<i>Bases</i> \ <i>Classes</i>	Human	Wolf	Horse	Cat
B_0	86%	91%	86.4%	84.2%
B_0 + Isométrie	80.9%	88.2%	81%	80%
B_0 + Rigides	85%	87%	81%	80%
B_0 + Topologie	79%	85%	79.8%	82%
B_0 + Simplification	81%	90.8%	77.3%	82%
B_0 + Échelle	80%	89.1%	84.4%	78.2%
B_0 + Bruit	82.7%	88.9%	82%	78%

TABLE 2 – Comparaison des mesures de similarités de différents descripteurs de formes 3D

Méthodes	NN (%)	FT (%)	ST (%)	E (%)	DCG (%)
FOG	96.8	81.7	90.3	66.0	94.4
BOW-LSD	95.5	67.2	80.3	57.9	89.7
MDS-CM-BOF	99.5	91.3	96.9	71.7	98.2
BOGH	99.3	81.1	88.4	64.7	94.9
LSF	99.5	79.9	86.3	63.3	94.3
ShapeDNA	99.2	91.5	95.7	70.5	97.8
Harris3DGeoMap	56.2	32.5	46.6	32.2	65.4
HKS	83.7	40.6	49.7	35.3	73.0
MeshSIFT	99.5	88.4	96.2	70.8	98.0
SD-GDM	100.0	96.2	98.4	73.1	99.4
PatchBOF	74.8	64.2	83.3	58.8	83.7
SF3D-Harris3D	99.8	88.1	97.8	69.8	98.2

descripteur proposé (DLG) par rapport aux méthodes participantes à l'évaluation de SHREC'2011 [6, 15].

La comparaison du descripteur local-global (SF3D-Harris3D) proposé montre sa performance pour les différentes mesures de similarités. Nous remarquons les performances de (SF3D + Harris 3D) ressemble plus à celles de SD-GDM, Shape DNA, Mesh SIFT. Bien que le descripteur local-global proposé et Harris3DGeoMap utilisent les deux le même détecteur des points d'intérêts, les résultats de Harris3DGeoMap sont assez faible.

Le SF3D-Harris 3D est évalué pour la base SHREC'09 [16]. Les résultats d'indexation de la figure 4 montrent qu'il est plus

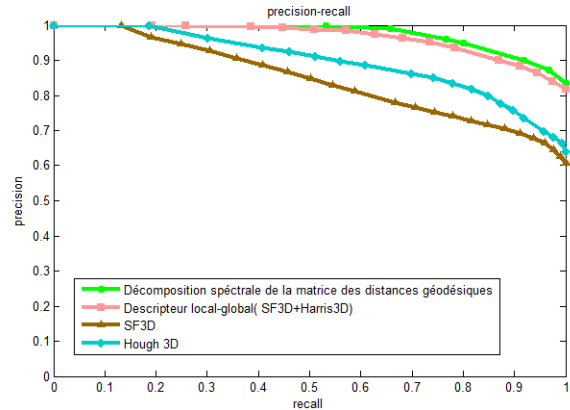


FIGURE 3 – Rappel-précision de descripteurs de formes 3D pour la base SHREC'2011

performant que les descripteurs retenus par MPEG-7 (Hough 3D, SF3D).

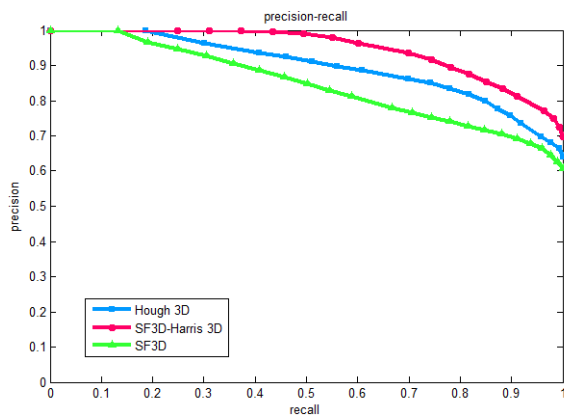


FIGURE 4 – Rappel-précision de SF3D-Harris 3D pour la base SHREC'2009

5 Conclusion

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la problématique d'indexation d'objets 3D représentée par des maillages triangulaires et ce en utilisant des descripteurs de formes 3D. Une nouvelle approche basée sur la coopération des descripteurs globaux et locaux a été proposée. Elle a été évaluée et testée sur des bases variées d'objets 3D. Les résultats expérimentaux obtenus sont prometteurs et montrent l'intérêt de la coopération de descripteurs locaux-globaux.

Références

- [1] T.B. Zaharia. Indexation de vidéos et de maillages 3D dans le contexte MPEG-7. 2001.
- [2] D. Wang, J. Zhang, H.Wong, and Y.Li. 3D model retrieval based on multi-shell extended gaussian image. In *Advances in Visual Information Systems, 9th International Conference, VISUAL*, pages 426-437, Shanghai, China, 2007. Springer, 89.
- [3] M. Kazhdan, T. Funkhouser, and S. Rusinkiewicz. Rotation invariant spherical harmonic representation of 3D shape descriptors. In *Symposium on Geometry Processing*, June 2003.
- [4] M. Novotni and R. Klein. 3D Zernike descriptors for content based shape retrieval. In *The 8th ACM Symposium on Solid Modeling and Applications*, June 2003.
- [5] D.V. Vrani and D. Saupe. 3D shape descriptor based on 3D Fourier transform. In K. Fazekas, editor, *EURASIP Conference on Digital Signal Processing for Multimedia Communications and Services (ECMCS'01)*, pages 271-274, Budapest, September 2001.
- [6] Z. Lian, A. Godil, B. Bustos, M. Daoudi, J. Hermans, S. Kawamura, Y. Kurita, G. Lavoué, H.V. Nguyen, R. Ohbuchi, Y. Ohkita, Y. Ohishi, F. Porikli, M. Reuter, I. Sipiran, D. Smeets, P. Suetens, H. Tabia, D. Vandermeulen: A comparison of methods for non-rigid 3D shape retrieval. *Pattern Recognition* 46(1) : 449-461 (2013)
- [7] G. Lavoué, Bag of words and local spectral descriptor for 3D partial shape retrieval, in : *Proceedings of the Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval (3DOR11)*, 2011, pp. 4148.
- [8] D. Smeets, T. Fabry, J. Hermans, D. Vandermeulen, P. Suetens, Isometric deformation modelling for object recognition, in : *Proceedings of the 13th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP09)*, 2009, pp. 757765.
- [9] G. Peyré, and L. D. Cohen : 2003, 'Geodesic Remeshing Using Front Propagation'. *Proc. IEEE Variational, Geometric and Level Set Methods 2003*
- [10] I. Sipiran and B. Bustos. Harris 3D : a robust extension of the harris operator for interest point detection on 3D meshes. *The Visual Computer*, 27(11) : 963976, 2011.
- [11] C. Harris and M. Stephens, A combined corner and edge detection, *Proc. Fourth Alvey Vision Conference*, 1988, pp. 147-151.
- [12] R. Kimmel and J.A. Sethian, Computing geodesic paths on manifolds, in : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1998, pp. 84318435.
- [13] G. Peyré and L. D. Cohen. *Progress in Non linear Differential Equations and Their Applications*, volume 63, chapter Geodesic Computations for Fast and Accurate Surface Remeshing and Parameterization, pages 157-171. Springer, 2005
- [14] A. M. Bronstein, M. M. Bronstein, R. Kimmel : *Numerical geometry of non-rigid shapes*. Springer, 2008
- [15] SHREC 2011- Shape Retrieval Contest of Non-rigid 3D Watertight Meshes, <http://www.itl.nist.gov/iad/vug/sharp/contest/2011/NonRigid/>
- [16] SHREC 2009- Shape Retrieval Contest on a New Generic Shape Benchmark, <http://www.itl.nist.gov/iad/vug/sharp/benchmark/shrecGeneric/>