

Indexation d'Objets 3D Basée sur Les Séries de Fourier

E.Ait Lmaati(1) , Ahmed El Oirrak(1) , Driss Aboutajdine(2) Senior Member IEEE, Mohamed Daoudi(3) Member IEEE, M.N. Kaddioui(1)

(1)Faculté des sciences Semlalia, Dept Informatique, Marrakech, Maroc

(2)Faculté des sciences, LEESA-GSCM, BP 1014, RABAT

(3)Département Informatique et Réseaux, ENIC/INT

Cité scientifique - Rue Guglielmo Marconi

Villeneuve d'Ascq cedex France

lmaatimustapha@yahoo.fr , oirrak@yahoo.fr , aboutaj@fss.ac.ma , daoudi@enic.fr

Concours jeune chercheur : Oui

Résumé

La taille des données 3D utilisées sur le Web devient de plus en plus très grande, par conséquent le développement des applications de reconnaissance d'objets 3D et des moteurs de recherche devient nécessaire. Dans ce papier on propose un nouveau schéma pour extraire la similarité entre les modèles 3D, en se basant sur les rayons maximales entre la surface de l'objet et son centre de masse et les séries de Fourier après l'alignement de l'objet en utilisant l'ACPC (Analyse en Composante Principale Continue).

Les vecteurs caractéristiques construits par cette méthode sont invariants sous l'action de rotation, translation, réflexion et l'échelle. La méthode proposée est stable pour le bruit et le niveau de détail. Un moteur de recherche développé nous permet de tester la performance de ce descripteur nommé (RFS : Ray with Fourier Series) en utilisant une large base d'objets VRML2.0.

Mots clefs

Modèles 3D, indexation 3D, séries de Fourier, VRML.

1 Introduction

De plus en plus, la taille des données audio-visuel stockées autour du WEB devient énorme, par conséquent la description de ces données (texte, images, audio, vidéo, 3D objets, etc) est l'objectif de plusieurs chercheurs scientifiques. L'indexation de modèles 3D est l'un des domaines les plus récents qui permet la recherche des modèles similaires à un modèle requête dans une large base de données. La tâche la plus intéressante de l'indexation consiste à trouver un descripteur de forme pour extraire un vecteur caractéristique qui nous permet la mesure de similarité entre les éléments d'une base

d'objets 3D. Plusieurs travaux sont faits dans ce sens, le descripteur de spectre de forme [1] proposé par Zaharia et Prêteux se base sur les courbures locales de la surface de l'objet 3D. Filali et Daoudi ont proposé un descripteur qui se base sur les vues caractéristiques de l'objet, il s'agit d'une méthode probabiliste qui sélectionne les vues intéressantes parmi plusieurs vues [2]. En se basant sur des statistiques, Osada et al ont proposé le descripteur nommé distribution de forme (D2)[3]. Paquet et Rioux ont proposé la méthode d'histogrammes de corde [4] qui repose sur des segments reliant le centre de gravité de l'objet aux centres de chaque triangle du maillage de l'objet. Le rapport aire/volume est utilisé comme vecteur caractéristique pour décrire les objets 3D par Zhang et Chen [5], malgré que cette description est rapide en calcul elle nécessite un maillage de bonne qualité (surface fermée, triangles orientés). Vranic et Saupé construisent les vecteurs caractéristiques à partir de fonction complexe dans la sphère [6]. Parmi d'autres descripteurs, on cite la méthode des rayons obtenus du centre de gravité de l'objet et l'intersection avec la surface de l'objet dans des directions données [7], cette approche n'est pas stable au bruit et elle nécessite une grande dimension pour les vecteurs caractéristiques construits, c'est pourquoi Vranic et al ont introduit la méthode de l'harmonique sphérique [8] afin de diminuer la dimension des vecteurs caractéristiques qui sont obtenus dans le domaine fréquentiel et d'avoir la stabilité au bruit.

Dans ce papier on propose de reconstruire une courbe 3D fermée à partir du maillage 3D après l'alignement de l'objets 3D par l'ACPC, puis d'appliquer les séries de Fourier qui sont utilisées dans la littérature [10,11], enfin d'extraire les vecteurs caractéristiques à partir des coefficients de Fourier calculés.

Les séries de Fourier nous permettent de calculer des quantités dans le domaine fréquentiel, puis les

normalisées afin d'avoir l'invariance à l'échelle. Ainsi le descripteur de forme proposé est invariant sous l'action de translation, rotation, réflexion et l'échelle, stable au bruit et aux niveaux de détails.

2 Représentation de l'objet 3D

Les objets 3D sont représentés par un maillage polygonal, avec des facettes triangulaires qui ne sont pas forcement orientés. Chaque objet est constitué de m facettes $\{F_i\}_{i=1\dots m}$ avec $F_i \subset \mathbb{R}^3$ et n sommets $\{P_i\}_{i=1\dots n}$, $P_i = (x_i, y_i, z_i) \in \mathbb{R}^3$.

Les facettes F_i sont déterminées par des points (P_j, P_k, P_l) avec $j, k, l \in \{1..n\}$, la surface de l'objet et donnée par $S = \cup_{i=1..m} F_i$.

3 Vecteur caractéristique basé sur les séries de Fourier

Le descripteur proposé utilise l'ACPC [9] qui est très souvent utilisé comme prétraitement dans le processus d'indexation 3D, c'est un ensemble de transformations affines appliquées sur l'objet 3D afin d'obtenir l'invariance au translation, rotation, réflexion et l'échelle. Ces transformations sont appliquées en chaque sommet P de l'objet.

Pour avoir l'invariance au translation on fait une translation du système de coordonnées au centre de masse G de l'objet, l'invariance au rotation est assurée en multipliant les coordonnées obtenus par la matrice de covariance V dont les colonnes sont les vecteurs propre unitaires classés selon l'ordre des valeurs propres associées, enfin on multiplie par la matrice F de réflexion afin de déterminer les directions des axes dans le nouveaux repère. Ces transformations affines ϕ sont données par l'équation suivante :

$$\phi(P) = F.V.(P - G).$$

La facilité de calcul des vecteurs caractéristiques invariants pour le facteur d'échelle nous permet de minimiser le temps de calcul et d'éliminer les erreurs dues aux approximations des intégrales dans le calcul du facteur d'échelle.

Le passage d'un objet 3D vers une courbe 3D fermée est la principale idée qui nous permet d'appliquer les séries de Fourier, et de passer ainsi du domaine spatial vers le domaine fréquentiel.

En calculant les distances maximales r_i entre la surface de l'objet et son centre de masse dans des directions u_i unitaires construisent par une hélice sphérique présentée dans la figure 1, on construit la courbe 3D

correspondante. Les points d'intersections avec la surface de l'objet sont donnés par :

$$P_i = r_i u_i = (x_i, y_i, z_i), i = 1 \dots N$$

Avec $P_1 = P_N$.

La figure 2, montre une courbe 3D qui correspond au modèle de la figure 3.

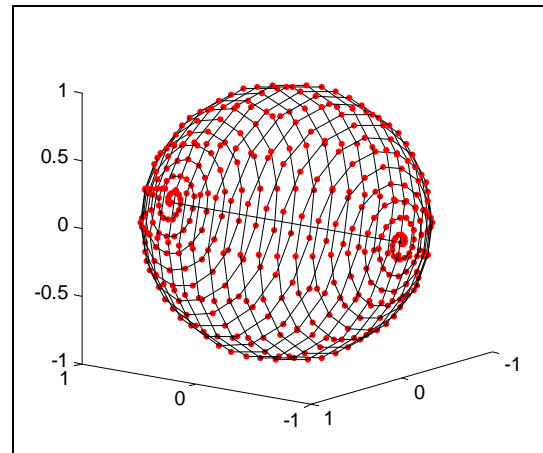


Figure 1 – Courbe d'une hélice sphérique de nombre de points 400.

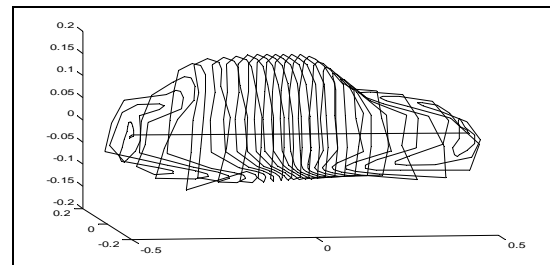


Figure 2 - Courbe 3D construite par une hélice sphérique.



Figure 3 - modèle m1524.off de la base de princeton shape benchmark.

Comme résultat on a construit une courbe paramétrique X de période T dans un repère cartésien, cette courbe est donnée par l'équation :

$$X(t) = \begin{cases} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{cases} \quad t \in [0, T]$$

La reparamétrisation des courbes est une problématique dans le domaine de reconnaissance des formes. Très souvent connue dans la littérature l'abscisse curviligne normalisée se transforme linéairement sous l'action d'une similitude, tandis que la linéarité sous affinité est conservée pour la longueur affine. Dans notre cas ni le problème de point de départ ni le problème d'invariance aux affinités ne se pose pas puisque on a aligné les objets 3D en utilisant l'ACPC, alors on propose la paramétrisation invariante au facteur d'échelle donnée par l'équation:

$$\tau(t) = \frac{\int_0^t \sqrt{x^2(u) + y^2(u) + z^2(u)} du}{\int_0^T \sqrt{x^2(u) + y^2(u) + z^2(u)} du}$$

$$= \frac{\int_0^t r(u) du}{\int_0^T r(u) du}$$

Pour extraire les vecteurs caractéristiques pour un objet 3D donné on applique la méthode des séries de Fourier au fonction $r(\tau)$, on obtient la formule :

$$FS(r(\tau)) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n e^{jn2\pi\tau} + c_{-n} e^{-jn2\pi\tau}$$

avec $a_0 = \int_0^1 r(\tau) d\tau$

Les coefficients de Fourier sont donnés par:

$$c_n = \frac{1}{2}(a_n - jb_n)$$

avec
$$\begin{cases} a_n = \int_0^1 r(\tau) \cos(2n\pi\tau) d\tau \\ b_n = \int_0^1 r(\tau) \sin(2n\pi\tau) d\tau \end{cases} \quad n \neq 0$$

On constate que a_n et b_n sont des invariants relatifs sous l'action d'échelle, en effet :

Si $\tilde{X}(t)$ est la courbe correspondante à l'objet 3D après l'application de l'ACPC résumé par les transformations

affines $\varphi(P) = s^{-1}.F.V.(P - G)$ ou s est le facteur d'échelle égale à la distance moyenne entre le centre de l'objet et ça surface, on a: $\tilde{X}(t) = s^{-1}.X(t)$ donc

$$\tilde{a}_n = \int_0^1 \tilde{r}(\tau) \cos(2n\pi\tau) d\tau = \int_0^1 s^{-1}r(\tau) \cos(2n\pi\tau) d\tau$$

Alors on a: $\tilde{a}_n = s^{-1}a_n$, ou \tilde{a}_n est le coefficient de Fourier pour la courbe $\tilde{X}(t)$, on aura le même résultat pour le coefficient b_n .

Les quantités complexes I_n données par la formule ci-dessous sont invariantes pour le facteur d'échelle.

$$I_n = a_n/a_1 + j b_n/b_1$$

Le vecteur caractéristique de chaque objets 3D est constitué des magnitudes de I_n pour $n > 1$. Dans la pratique les premiers coefficients constituent le vecteur caractéristique car les coefficients de hautes fréquences sont affectés par le bruit.

4 Résultats Expérimentaux

Pour tester la performance des vecteurs caractéristiques proposés ainsi que nos algorithmes, on a formé des classes par aspect géométrique de l'objet dans la base de données du *Princeton Shape Retrieval and Analysis Group* [12] qui contient 1814 objets 3D en format off (*object file format*). La figure 4 montre des objets de quelques classes.

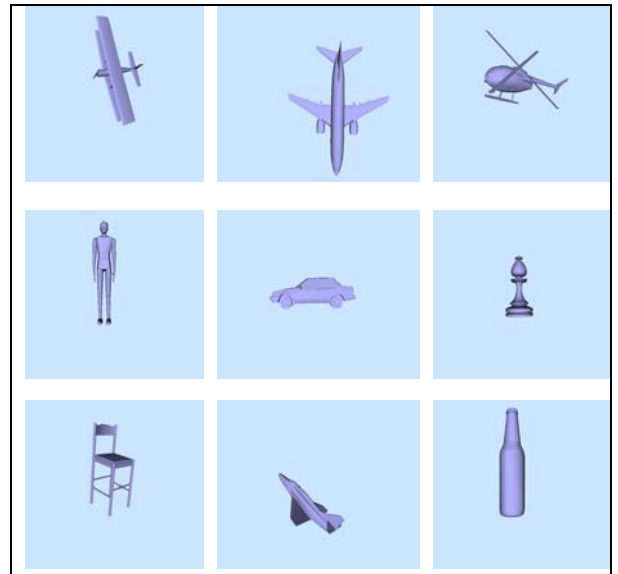


Figure 4 - Modèles 3D de quelques différentes classes

L'implémentation des différentes distances l_1, l_p, l_∞ avec $p > 1$ nous permet la mesure de similarité entre des paires d'objets et d'extraire les modèles les plus similaires du modèle requête.

Une interface web est développée, dont le serveur apache nous permet de faire des requêtes en ligne, le noyau du moteur de recherche d'objet 3D est développé en PHP et Java. La figure 5 montre le résultat d'une requête pour une voiture, les 10 premiers objets les plus similaires sont extraits.

La figure 6 montre la courbe rappel - précision sur la classe voiture calculée pour les 20 premiers résultats retournés, en utilisant la norme l_2 et 200 comme dimension de vecteur caractéristique, avec des courbes 3D de 400 points. On remarque que le descripteur proposé donne de bons résultats.

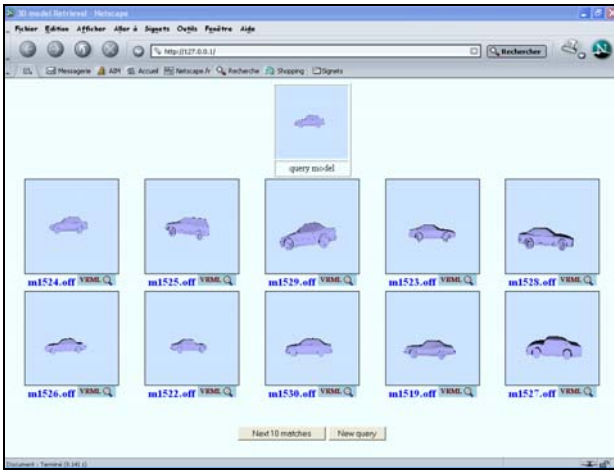


Figure 5- requête pour une voiture.

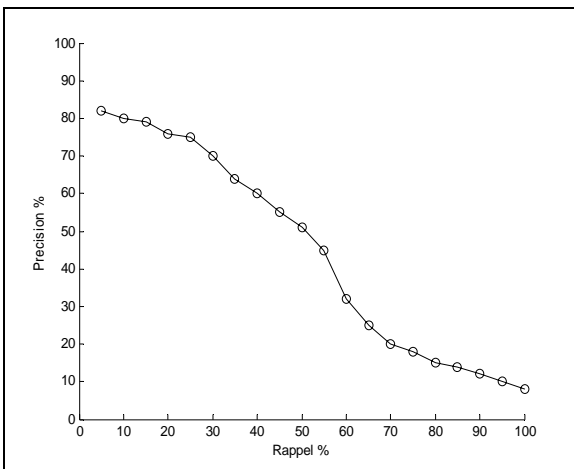


Figure 6-courbe Rappel /Précision pour la classe voiture.

5 Conclusion

Un descripteur de forme 3D basé sur les séries de Fourier est introduit dans cet article, efficace pour l'indexation 3D, stable au bruit et aux niveaux de détails, testé avec une large base d'objets 3D grâce au moteur de recherche développé. Les résultats obtenus par ce descripteur sont prometteurs, qui seront comparables à d'autres descripteurs classiques similaires comme l'harmonique sphérique [8] et la transformée de Fourier 3D [9].

Références

- [1] MPEG-7 Video Group, "Information Technology - Multimedia Content Description Interface - Part 3: Visual," ISO/IEC FCD 15938-3 / N4062, MPEG-7, Singapore, March 2001.
- [2] T. Filali Ansary, M. Daoudi, J.P. Vandeborre, 3D Model Retrieval Based on Adaptive Views Clustering in Proc. ICAPR 2005, Bath, UK, August 22-25, 2005, Part II.
- [3] R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle, and D. Dobkin, "Matching 3D Models with Shape Distributions," in Proc. SMI 2001, Genova, Italy, May 2001, pp. 154 -166.
- [4] E. Paquet, M. Rioux, "a query by content software for three - dimensional models databases management," in Proc. Int. Conf. on Recent Advances, 3-D Digital Imaging and Modeling, pages 345-352.
- [5] C. Zhang, T. Chen, "Efficient feature extraction for 2d/3d objects in mesh representation. In IEEE International Conference on Image Processing, ICIP, Thessaloniki, Greece.
- [6] D. V. Vranic and D. Saupe, "Description of 3D-Shape Using a Complex Function on the Sphere," in Proc. 2002 IEEE International Conference on Multimedia (ICME 2002), Lausanne, Switzerland, August 2002, pp. 177-180.
- [7] D. V. Vranic, D. Saupe, "3D Model Retrieval," in Proc. Spring Conference on Computer Graphics and its Applications (SCCG2000), B. Falsidieno, Ed., Budmerice Manor, Slovakia, May 2000, pp. 89-93, Comenius University.
- [8] D. Saupe and D. V. Vranic, "3D Model Retrieval with Spherical Harmonics and Moments," in Proc. DAGM 2001, B. Radig and S. Florczyk, Eds., Munich, Germany, September 2001, pp. 392-397, Springer Verlag.
- [9] D. V. Vranic 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 2001.
- [10] A. Eloirak, M. Daoudi, D. Aboutajdine, "Affine invariant descriptors using Fourier series," in Pattern Recognition Lett. 23, 1109-1118.

- [11] A. Eloirrak, M. Daoudi, D. Aboutajdine, "Affine invariant descriptors for color images using Fourier series," in *Pattern Recognition Lett.* 24, 1339-1348.
- [12] P. Shilane, P. Min, M. Kazhdan, et T. Funkhouser. The princeton shape benchmark. Dans *Shape Modeling International*, June 2004.