

Extension de la transformation ART pour la description, l'indexation et la recherche d'objet 3D

J. Ricard

D. Coeurjolly

A. Baskurt

LIRIS, FRE 2672 CNRS

Bat. Nautibus, 43 bd du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne cedex, France

{julien.ricard david.coeurjolly atilla.baskurt}@liris.cnrs.fr

Résumé

Cet article présente un nouveau descripteur de forme tridimensionnel, nommé 3D Angular Radial Transform. Ce descripteur est une extension du descripteur de forme 2D par approche région proposé par la norme MPEG-7, l'Angular Radial Transform (ART). Nous proposons de généraliser l'ART en trois dimensions pour l'indexation d'objets 3D.

Mots clefs

Indexation d'objets 3D, descripteur de forme.

1 Introduction

Les bases de modèles 3D techniques ne cessent de grossir depuis le démarrage de la conception assistée par ordinateur. Les laboratoires d'ingénieries voient le nombre de leurs objets 3D augmenter. Il est donc nécessaire d'avoir des outils permettant d'indexer et de rechercher dans ces grandes bases de données techniques pour permettre de retrouver facilement un modèle existant. En partenariat avec le constructeur automobile Renault et dans le cadre d'un projet RNRT, SEMANTIC 3D, nous recherchons les possibilités de mettre en place un descripteur de forme 3D rapide pour indexer des grandes bases de données techniques.

L'indexation de grandes bases de données techniques demande un descripteur de forme de petite taille et un coût d'indexation et de recherche faible pour garantir des réponses rapides. Pour indexer des objets 3D, les approches basées sur les moments 3D existent et l'on peut en particulier citer la représentation en harmoniques sphériques [1, 2, 3]. Sur les images 2D, le comité MPEG-7 a proposé d'indexer les images en utilisant un descripteur de forme par approche région, Angular Radial Transform (ART) [4, 5]. Ce descripteur de formes possède de nombreuses propriétés : petite taille, robuste aux bruits et aux variations d'échelle, invariance en rotation, possibilité de décrire des objets complexes.

Ce papier présente un nouveau descripteur de forme 3D, 3D Angular Radial Transform (3D ART). Ce descripteur est une généralisation de la transformation ART sur des objets 3D en gardant ces propriétés. La suite de ce papier

est organisée comme suit : premièrement, un rapide état de l'art sur la reconnaissance de forme, puis la description de la transformation ART 3D et finalement nous présenterons les expériences et les résultats que nous avons mis en place pour prouver l'efficacité de la méthode.

2 Etat de l'art

Les approches basées sur les moments peuvent être définies comme la projection de la fonction définissant l'objet sur un ensemble de fonctions caractéristiques. Ces approches ont été utilisées dans la reconnaissance de forme 2D avec des moments 2D : géométrique, Legendre, Fourier-Mellin, Zernike, pseudo-Zernique [6]. Plusieurs de ces moments ont été étendus en 3D : Fourier 3D [7], Ondelette 3D [8], Zernike 3D [9] et la décomposition en harmoniques sphériques [1, 2, 3].

La description en harmoniques sphériques (HS) est une des méthodes les plus efficaces de la littérature et sera utilisée dans la dernière section pour estimer les performances de la méthode proposée. La description en harmoniques sphériques décompose les formes 3D centrées en un ensemble de composants indépendants à la rotation par l'échantillonnage de l'espace tridimensionnel en coquilles concentriques. Les fonctions sphériques sont décomposées comme la somme des 16 premières composantes harmoniques [2], de façon analogue à une décomposition de Fourier dans différentes fréquences. Utilisant le fait que la rotation ne change pas la norme des composantes harmoniques, la signature de chaque fonction sphérique est définie comme la liste des 16 normes. Ainsi calculées, les différentes signatures sont combinées pour obtenir un descripteur de taille $32 * 16$ pour chaque objet. Durant les phases de recherches, la similarité entre objets est calculée par une distance Euclidienne entre les vecteurs.

3 3D Angular radial transform

Dans ce paragraphe, nous généraliserons la transformation radiale angulaire en dimension trois.

3.1 Définition de ART 3D

Pour appliquer la transformation ART 3D, les objets sont représentés en coordonnées sphériques, ou ϕ est l'angle

azimutal dans le plan xy par rapport à l'axe x , θ est l'angle polaire par rapport à l'axe z et ρ est le rayon du point à l'origine. L'ART 3D est une transformation unitaire orthogonale complexe définie sur le disque unité. Les coefficients ART 3D sont définis par :

$$F_{nm_\theta m_\phi} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \int_0^1 V_{nm_\theta m_\phi}^*(\rho, \theta, \phi) f(\rho, \theta, \phi) \rho d\rho d\theta d\phi \quad (1)$$

où $F_{nm_\theta m_\phi}$ est le coefficient ART d'ordre n , m_θ et m_ϕ , $f(\rho, \theta, \phi)$ est l'objet 3D exprimé en coordonnées sphériques et $V_{nm_\theta m_\phi}(\rho, \theta, \phi)$ est la fonction de base d'ART 3D (FdB). Les FdB 3D sont séparables suivant la direction radiale et les deux directions angulaires :

$$V_{nm_\theta m_\phi}(\rho, \theta, \phi) = A_{m_\theta}(\theta) A_{m_\phi}(\phi) R_n(\rho) \quad (2)$$

Comme en 2D, la fonction radiale est définie par une fonction cosinus :

$$R_n(\rho) = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ 2 \cos(\pi n \rho) & n \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Les fonctions angulaires sont définies par des fonctions exponentielles pour avoir une invariance en rotation :

$$\begin{aligned} A_{m_\theta}(\theta) &= \frac{1}{2\pi} \exp(2jm_\theta\theta) \\ A_{m_\phi}(\phi) &= \frac{1}{2\pi} \exp(jm_\phi\phi) \end{aligned} \quad (4)$$

Deux fonctions angulaires sont définies pour garantir la continuité des fonctions de base en fonction des valeurs de θ et ϕ . Les valeurs des paramètres n , m_θ et m_ϕ sont fixées au regard du ratio coût/efficacité, en calculant les courbes de *Recall* pour différentes valeurs de ces paramètres. Sur la base de modèles 3D techniques présentée dans le paragraphe 4, nous fixons les valeurs : $n = 3$, $m_\theta = 5$ et $m_\phi = 5$. Les parties réelles des FdB sont visibles dans la figure 1. La mesure de similarité est calculée en utilisant une distance L_1 entre les descripteurs ART 3D :

$$d(R, I) = \sum_{i=1}^{n \cdot m_\theta \cdot m_\phi} \|ART3D_R[i] - ART3D_I[i]\| \quad (5)$$

Où R et I représente l'objet requête et un objet de la base et $ART3D$ est le tableau contenant les valeurs des descripteurs ART3D.

3.2 Processus d'indexation

Une propriété importante de l'ART 2D est son invariance à la rotation. En effet, une rotation en coordonnée polaire peut s'exprimer comme la somme d'un terme constant sur les composantes angulaires.

$$(\rho, \theta) \xrightarrow{Rot_\alpha} (\rho, \theta + \alpha) \quad (6)$$

Ceci ne modifie pas la norme de la fonction $A_n(\theta)$ et le descripteur ART. En 3D, une rotation quelconque ne peut être exprimée comme la somme de valeurs constantes sur les composantes angulaires. Ce qui modifie les fonctions

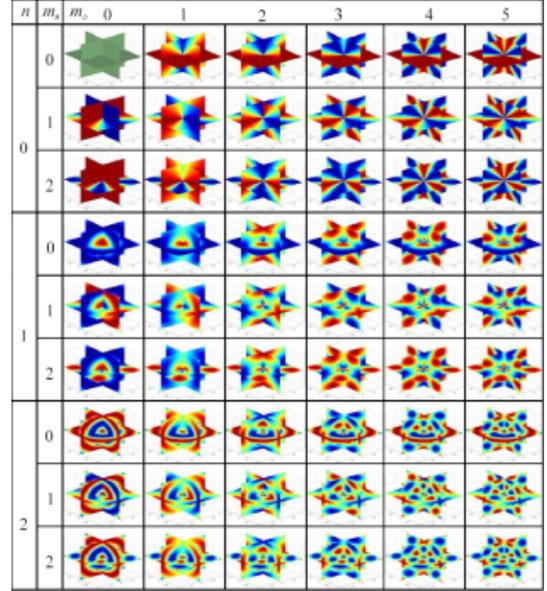


Figure 1 – Partie réel des fonctions de base 3D.

exponentielles A_{m_i} et le descripteur. Les seules rotations qui sont invariantes par cette description sont les rotations autour de l'axe z . Ces rotations ne modifient pas les composantes θ des points de l'objet. Par conséquent, les rotations peuvent être exprimées comme une somme linéaire sur la composante ϕ ce qui est invariant. Pour résoudre ce problème, nous alignons les objets selon leurs directions principales. Une analyse en composante principale (ACP) est appliquée pour obtenir les directions principales des objets et nous alignons les objets seulement selon l'axe z . La figure 2 montre le processus d'indexation.

Avant de projeter l'objet 3D sur les FdB, l'objet subit un pré traitement. Premièrement, l'objet est discrétisé sur une grille régulière et les voxels sont étiquetés intérieur/extérieur. La discrétisation est utilisée pour calculer les paramètres de centrage, de mise à l'échelle et d'alignement suivant l'axe z . Ensuite, l'objet discrétisé est aligné selon ces paramètres : l'objet 3D est centré sur le centre de gravité et mis à l'échelle de façon à ce que les bords de l'objet coïncident avec ceux de la grille. Le pré traitement rend la description robuste aux translations, aux variations d'échelle et aux rotations. Enfin, la discrétisation est projetée sur les fonctions de base d'ART 3D pour obtenir les coefficients ART 3D. Ces coefficients sont normalisés et stockés dans le descripteur de forme 3D.

4 Expériences

Trois séries d'expériences ont été réalisées. Dans un premier temps, des tests ont été mis en place pour fixer le nombre de FdB et la taille de la discrétisation. Puis nous avons évalué la robustesse de la méthode et enfin, nous avons comparé ART 3D à la description par harmoniques sphériques (HS) [1, 2]. Ces tests ont été faits sur deux bases

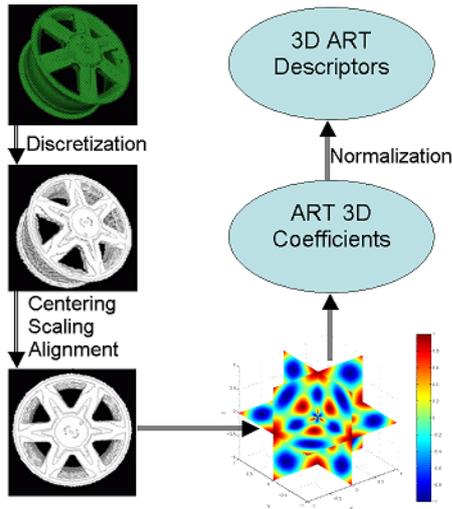


Figure 2 – *Processus d'indexation.*

de modèles : Princeton Shape Benchmark [10] et une base de modèles techniques 3D Renault (la figure 3 montre des exemples de modèles). La base de modèle Renault est une base de modèles techniques qui contient des pièces mécaniques. Les formes des modèles d'une même classe sont similaires. La base Princeton contient des classes hautement sémantiques ou les objets d'une classe sont plus hétérogènes.

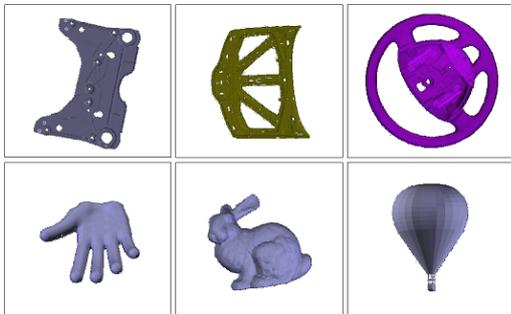


Figure 3 – *Exemple de modèles 3D : première ligne : base Renault, deuxième ligne : Princeton Shape Benchmark.*

Pour fixer les valeurs des paramètres, Les courbes de Recall sont comparées. Douze valeurs des paramètres n , m_θ et m_ϕ ont été évaluées. La figure 4.a montre que les meilleurs résultats sont obtenus pour $n = 3$ et $m_\theta = m_\phi = 5$. La figure 4.b montre les mêmes résultats pour plusieurs tailles de discrétisation S . Les meilleurs résultats sont obtenus sur la base de modèles techniques pour $S = 64$. Ces valeurs sont utilisées dans la suite de ce travail et ce sont également celles utilisées dans [2] pour le calcul des HS.

Pour évaluer la robustesse du processus, nous déformons des objets 3D selon certaines transformations : changement d'échelle, rotation, translation et bruit. La table 1 montre les distances maximums et moyennes obtenues

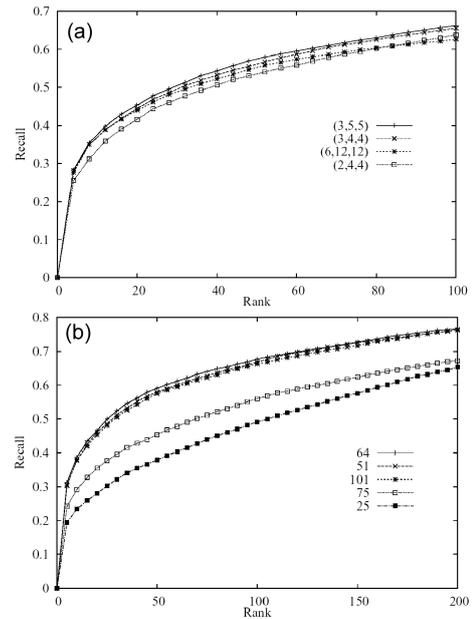


Figure 4 – *Courbes de Recall pour plusieurs valeurs des paramètres.*

pour ces quatre déformations. Pour chaque transformation, nous créons des ensembles d'objets 3D déformés et pour chaque objet, nous calculons la distance à l'objet d'origine. La translation n'a pas effet sur la distance car le pré traitement centre et met à l'échelle les objets. Pour les mêmes raisons, le changement d'échelle n'a qu'un très faible effet du aux artefacts de discrétisation. La distance maximum obtenue est de 0.16 alors que la distance moyenne entre deux objets de classes différentes est autour de 3. La distance obtenue est inférieure à la distance intra classe et la classification sera bonne. Le test de déformation aux rotations crée un ensemble d'objets perturbés suivant trois rotations aléatoires selon les axes et donne une distance maximum de 1.272 et une distance moyenne de 0.75. La déformation du au bruit est un déplacement aléatoire des sommets de l'objet ; chaque sommet est déplacé suivant un vecteur gaussien aléatoire. La longueur moyenne des vecteurs de déplacement est un pourcentage de la taille de l'objet. Si la distance est supérieure à 10% la surface de l'objet est grandement déformée mais la mesure de similarité est de 1.6 et l'objet est encore bien classé. La figure 5 montre un objet déformé par ce procédé.

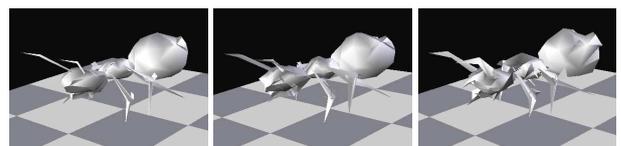


Figure 5 – *Exemple de déformation due au bruit pour trois valeurs de distances : 0%, 5% et 10%.*

	Transl.	Var. d'éch.	Rot.	Bruit
Dist. max.	0	0.016	1.272	2.217
Dist. moy.	0	0.003	0.750	1.012

Tableau 1 – Distances obtenues pour plusieurs déformations.

Un autre ensemble d'expérimentations a été fait pour comparer la description ART 3D à celle par des harmoniques sphériques (HS). Cette expérience a été réalisée sur les deux bases d'objets. Les figures 6.a et 6.b montrent les courbes de Recall pour les descriptions HS et ART3D sur les deux bases. Sur la base Princeton (Fig. 6.a), les HS donnent une meilleure description que la méthode ART. Sur la base Renault les résultats sont sensiblement équivalents suivant les deux méthodes de description. Ceci montre que la description ART fonctionne efficacement lorsque la distance intra classe est faible. Le coût de calcul et la taille des descripteurs sont aussi un point significatif pour comparer des méthodes (Table 2). Le coût de l'indexation avec la méthode ART 3D est 2.5 fois plus rapide que l'indexation des HS et le coût du calcul de la mesure de similarité est 7.8 fois moindre pour ART. Ces différences sont dues au fait que la description ART ne fait pas de transformation fréquentielle et reste dans l'espace réel contrairement aux harmoniques sphériques qui procèdent à une transformation fréquentielle.

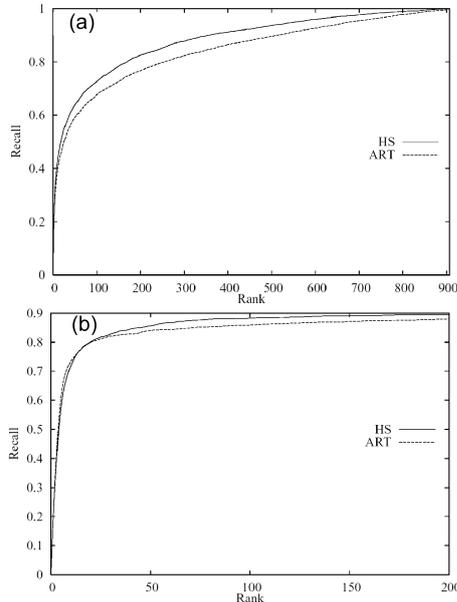


Figure 6 – Courbes de Recall sur les bases Princeton et Renault.

5 Conclusion

Cet article propose un nouveau descripteur de forme 3D, ART 3D. Cette transformation 3D et le processus d'in-

	Temps d'indexation	Taille du descripteur
SH	10	544
3D ART	4	74

Tableau 2 – Comparaison de la taille (en nombre flottant) et du temps d'indexation (en second) entre ART 3D et la représentation en harmoniques sphériques.

dexation fournissent un descripteur de formes robustes aux translations, rotations, variations d'échelle, multi représentations (remaillage, faible déformation), bruit et rotation 3D. Le descripteur de formes proposé remplit les conditions induites par l'analyse des bases de modèles techniques : processus d'indexation et de recherche robuste et précis, et calcul de similarités rapides.

Références

- [1] T. Funkhouser, P. Min, M. Kazhdan, J. Chen, A. Halderman, D. Dobkin, et D. Jacobs. A search engine for 3d models. *ACM Transactions on Graphics*, 22(1) :83–105, Janvier 2003.
- [2] M. Kazhdan, T. Funkhouser, et S. Rusinkiewicz. Rotation invariant spherical harmonic representation of 3d shape descriptors. *Symposium on Geometry Processing*, Juin 2003.
- [3] D. V. Vranic et D. Saupe. Description of 3d-shape using a complex function on the sphere. Dans *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2002)*, Lausanne, Switzerland, August 2002.
- [4] S. Jeannin. Mpeg-7 Visual part of eXperimentation Model Version 9.0. Dans *ISO/IECJTC1/SC29/WG11/N3914, 55th Mpeg Meeting*, Pisa, Janvier 2001.
- [5] W.-Y. Kim et Y.-S Kim. A new region-based shape descriptor. Dans *TR 15-01*, Pisa, Décembre 1999.
- [6] C.-H. Teh et R. T. Chin.. On image analysis by the methods of moments. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 10(4) :496–513, 1988.
- [7] M. Elad, A. Tal, et S. Ar. Content based retrieval of vml objects - an iterative and interactive approach. Dans *The Sixth Eurographics Workshop in Multimedia*, pages 97–108, 2001.
- [8] E. Paquet et M. Rioux. Influence of pose on 3-d shape classification. Dans *SAE International Conference on Digital Human Modeling for Design and Engineering*, Dearborn, MI, USA, Juin 2000.
- [9] M. Elad, A. Tal, et S. Ar. 3d zernike moments and zernike affine invariants for 3d image analysis. Dans *11th Scandinavian Conf. on Image Analysis*, 1999.
- [10] Princeton shape benchmark. <http://shape.cs.princeton.edu/benchmark/index.cgi>.