

SEMANTIC-3D : COMPRESSION, INDEXATION ET TATOUAGE DE DONNÉES 3D

A. Baskurt¹, F. Dupont¹, G. Lavoué¹, J. Ricard¹, M. Daoudi²,
T. Filali Ansary², J.P. Vandeborre², J.L. Dugelay³, E. Garcia³, F. Preteux⁴,
T. Zaharia⁴, F. Blum⁵, B. Savage⁵, A. Dutartre⁶, F. Fratani⁶, D. Lichau⁶.

¹LIRIS, ²ENIC, ³EURECOM, ⁴INT, ⁵DATA CEP pour RENAULT, ⁶TGS

abaskurt@liris.cnrs.fr

Résumé

Les avancées récentes en imagerie 3D rendent possible la création, le stockage, mais aussi la transmission de modèles 3D. Le projet SEMANTIC-3D vise à développer de nouvelles techniques d'indexation, de compression et de tatouage d'objets 3D dans le cadre d'une application industrielle pour un système d'information et de communication sécurisée dans lequel la variété des terminaux et des réseaux utilisés doit être prise en compte.

Mots clefs

Compression 3D, Indexation 3D, Tatouage 3D.

1 Introduction

Le projet SEMANTIC-3D¹ [1] a pour objet l'exploration de techniques et d'outils préalables à la réalisation de nouveaux services opérationnels pour l'exploitation de contenu 3D à travers le Web et les objets communicants : de nouvelles techniques de compression, indexation et tatouage de données 3D seront développées et mises en oeuvre dans une application industrielle prototype : un système d'information et de communication (télé-consultation, télé-assistance) entre les auteurs (concepteurs de pièces mécaniques), les utilisateurs nomades (techniciens automobile) et un serveur central de données 3D. Les échanges de données 3D comprimées devront s'adapter au débit de transmission et à la capacité des terminaux utilisés. Ces échanges seront assurés avec un format de données normalisé avec des fonctionnalités de visualisation et d'animation 3D. Elles se feront sur des réseaux existants (réseau interne pour les auteurs, réseau sans fil pour les techniciens). Dans ce papier, après avoir rappelé les usages considérés dans ce projet, nous présentons un état de l'art des méthodes qui permettent un accès facile et rapide aux objets 3D d'une base de données avec des méthodes d'indexation spécifiques pour retrouver des objets similaires par deux approches dites

pures 3D et orientées vues; un état de l'art des techniques de modélisation et de compression des objets 3D; un état de l'art des méthodes de protection des objets 3D.

L'intégration de ces recherches dans un système de gestion documentaire expérimentale autorisera la préfiguration d'usages définis par Renault. Ces scénarios d'usages seront articulés autour d'un contexte après-vente, ils décriront des processus d'assistances, de consultations et de maintenances assistés par des terminaux mobiles.

2 Usages

Les objectifs attendus par Renault sont d'une part de contribuer à l'amélioration des services liés à la maintenance des véhicules, et d'autre part de participer à la réduction générale des coûts de production des nouveaux véhicules.

Les usages envisagés dans le cadre du projet se sont ainsi concentrés sur les activités de réalisation, de consultation et de recherche d'informations liées à la documentation technique du véhicule. Après analyse des besoins, ils ont été caractérisés en cinq services principaux :

- Rédaction de la documentation technique : le futur processus de description de la documentation technique se substituera au processus actuel de rédaction textuelle de documents. Le coût de « rédaction » de cette documentation devra rester dans des proportions comparables à celles de l'existant.

- Continuité numérique des informations : il s'agit de mettre au point un processus de diffusion de la documentation technique utilisant les données amonts, créées et utilisées par les bureaux d'études. Ces données se distinguent entre les données IAO (Ingénierie Assistée par Ordinateur) et celles permettant de décrire la structure et la composition du véhicule.

- Consultation de la documentation technique : la consultation de la documentation technique se rapporte à l'accès à l'ensemble des informations nécessaires à la réalisation d'une intervention technique. On retrouve notamment les méthodes de réparation, les pièces de rechange (avec des moyens de recherche par photographie numérique ou par numérisation de pièce), les notices

¹ Le projet SEMANTIC-3D a été labellisé en 2002 et est financé par le Réseau National de Recherche en Télécommunications (RNRT).

d'utilisation, Cette consultation se fera via différents supports de visualisation (PC, PDA, Terminal véhicule) et différents canaux de communication (Intranet/Internet, WiFi, GPRS, ...).

- Protection des données transmises : l'échange de nombreuses informations liées à la modélisation et à la structuration d'un véhicule, et à la description de sa documentation technique, nécessite une protection forte, et un contrôle de sa dissémination possible.

- Réalisation d'un diagnostic : l'une des principales tâches d'un technicien lors de son intervention technique est l'identification de l'origine d'un problème sur le véhicule. Pour répondre à ce besoin, et dans les limites du périmètre technique du projet, le système pourra assister l'intervenant en exploitant au mieux la description de la documentation technique.

Différents scénarii d'usage seront mis en œuvre dans le cadre du projet de manière à illustrer tout ou partiellement ces services.

3 Architecture

L'architecture du système mise en place doit permettre une utilisation optimale des réseaux (charge, gestion de cache, ...) et une adaptation au média de consultation. Le mode d'implantation n'ayant pas encore été figé, des mécanismes d'abstractions permettront aux modules composant le système de dialoguer sans se soucier des aspects de communication (réseau, local). Six entités métiers ou fonctionnelles ont été identifiées (voir fig. 1) :

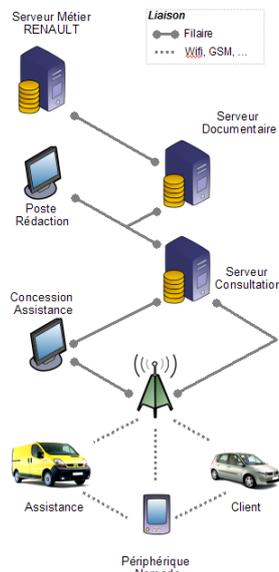


Figure 1 : Architecture globale.

- Serveur Métier RENAULT : En charge des données CAO (conversion CATIA, fourniture des méta-données).

- Serveur Documentaire : En charge du stockage des méthodes de réparation ainsi que des données associées (géométries, méta-données, ...),

- Poste de Rédaction : En charge de la gestion des manuels de réparations (création, mise à jour, ...).

- Serveur de Consultation : En charge de la consultation des méthodes de réparation avec la gestion des identifications, des caches réseaux, ...

- Poste Concession/Assistance : En charge de la consultation pour les demandes d'assistances ou au sein de la concession.

- Médias de consultation : Ceci regroupe toutes les entités susceptibles de se connecter et d'interagir avec le système SEMANTIC (PDA, tablette PC, ordinateur de bureau, ...).

4 Indexation

La section 2 décrit deux types de consultations de pièces : la première consiste à fournir une image ou un dessin d'une pièce et le système fournit les modèles 3D les plus similaires. Le second consiste à fournir un exemple de modèle 3D et le système recherche les modèles les plus proches. Nous proposons différentes approches qui permettent de modéliser ces deux cas.

4.1 Cas 1 : Indexation 2D/3D

Pour comparer l'image ou le dessin à un ensemble de vues qui peuvent caractériser le modèle 3D, deux types de problèmes se posent : trouver le nombre optimal de vues caractéristiques associées à un objet 3D et choisir la méthode d'indexation de modèles 3D.

Mokhtarian et al. [2] proposent l'utilisation du Curvature Scale Space (CSS) pour l'indexation des vues d'objets 3D. Il est invariant par rapport au groupe des similitudes, est stable par rapport aux erreurs dues aux imprécisions et au bruit, et est complet [3]. Mahmoudi et Daoudi [4] proposent également d'utiliser les CSS des contours des vues extraites des modèles. Ils sont organisés sous forme d'une structure d'arbre dite *M-Tree*. Cette étape est importante pour l'accélération de la recherche et la gestion de la mémoire vu le nombre important de vues associées au modèle 3D. Chen et Stockman [5] et Yi et al. [6] proposent une méthode basée sur l'approche bayésienne. Formellement, cela revient à calculer la probabilité *a posteriori* de reconnaître le modèle M_i quand on observe les descripteurs m_k . La modularité des LSG (Local Surface Group) utilisés comme descripteur permet une intégration d'autres propriétés comme la couleur ou les textures. L'algorithme est facile à implémenter. Cependant, la base de données utilisée pour les tests est constituée uniquement de vingt modèles 3D. Dans le cas des objets polyédriques, Costa et Shapiro [7] proposent la détection des contours des vues par le filtre de Canny. Les segments de lignes et les segments d'arcs circulaires sont extraits à partir de l'image contour. Ces primitives sont utilisées pour générer des propriétés de haut niveau. Chaque vue est décrite par un graphe relationnel de toutes ses propriétés.

Les méthodes de sélection de vues en nombre fixe sont intéressantes dans le cas d'objets relativement simples. Dans le cadre de ce projet, les modèles de différentes complexités nous poussent à déterminer un nombre dynamique de vues caractéristiques en fonction de la complexité des modèles.

4.2 Cas 2 : Indexation 3D/3D

Différentes approches sont possibles, on peut citer :

- Les approches statistiques basées sur les moments ou les distributions de primitives géométriques déterministes ou aléatoires [8, 9, 10], ou encore le descripteur par spectre de forme MPEG-7 [11]. Ces méthodes ont l'avantage d'être faciles à mettre en œuvre mais elles souffrent de l'instabilité vis-à-vis de la topologie des différentes représentations maillées d'un même objet.
- Les méthodes structurales basées sur les graphes et les arbres de primitives élémentaires [12, 13]. Ces représentations sont semi-globales, en cohérence avec les théories de la perception visuelle mais la complexité des algorithmes de segmentation et d'extraction, des mesures de similarité, et dépendance à la topologie est une limite.
- Les approches 3D par transformées : représentations globales par transformées intégrales, images d'attributs sphériques [14], images harmoniques [15], images de spin [16] ou encore par transformée de Hough 3D [17]. Ces représentations ont l'avantage d'être plus complètes mais la non compacité des descripteurs et la complexité des mesures de similarité limite leur utilisation.
- Les approches 2D/3D : construction d'un ensemble de projections 2D à partir du modèle 3D, selon différents angles de vue. L'avantage de ces approches est qu'elles utilisent la paramétrisation naturelle des images de projection 2D, mais elles souffrent notamment de la perte d'information due à la projection 3D/2D.

La comparaison détaillée de ces différentes approches [17] montre la supériorité du descripteur de Hough 3D optimisé, qui assure les meilleures performances de requête à un coût de calcul et une complexité de représentation minimaux. Dans le cadre du projet, son exploitation sera étudiée et comparée à des approches structurales et probabilistes sur une base de données

spécifique à l'application industrielle, pour des scénarios de requête 3D/3D mais aussi 2D/3D.

5 Compression

La compression efficace des données 3D complexes et hétérogènes joue un rôle clé dans l'ensemble du projet et doit répondre aux contraintes liées aux divers terminaux et réseaux de transmission considérés, dans un contexte fixe ou de mobilité (cf. § 2).

Les différentes approches de compression les plus représentatives de la littérature, qu'elles s'inscrivent dans un contexte mono ou multi-résolution, sont synthétisées dans le Tableau 1, qui en indique les principes fondateurs et en discute succinctement les performances. L'objectif sera ensuite d'identifier, de cette large panoplie d'approches, les méthodes les plus performantes, pour les optimiser et adapter aux spécificités des données CAO du projet, qui peuvent être représentés a priori comme des surfaces définies par des multiples composantes connexes et présentant des structures géométrico-topologiques complexes et non-régulières.

Une des approches retenues dans ce projet visera à découper les surfaces en régions de courbure constante, qui seront ensuite modélisées par des surfaces de subdivision par un processus de reconstruction inverse.

6 Tatouage

Le tatouage d'objets 3D doit permettre une vérification ou une extraction efficace et automatique de certaines informations liées à l'origine ou à la diffusion de l'objet, le tout en cherchant le bon compromis entre les contraintes classiques de *capacité* (quantité d'information qu'on peut dissimuler), *visibilité* (déformation induite par le tatouage) et *robustesse* (résistance du tatouage aux manipulations de l'objet qui n'en modifient pas la « sémantique » telles qu'une conversion de format ou une compression). Typiquement, un objet 3D est composé d'une description géométrique et éventuellement d'une image de texture. Parmi les quelques travaux déjà publiés dans le domaine du tatouage d'objets 3D, nombreux sont ceux qui cachent

	Approches	Principe	Commentaires
Mono-résolution	<ul style="list-style-type: none"> • Codage par bandes/conquêtes de triangles [18], [19] • Codage par arbres couvrants MPEG-4 [20] • Décomposition en niveaux [21] • Codage des valences [22] 	<ul style="list-style-type: none"> • Codage sans perte de la connexité, selon un certain ordre de parcours des facettes du maillage, et codage prédictif de la géométrie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Performances les plus élevées pour [22] avec quelques optimisations proposées dans [23] permettent d'améliorer le codage de la connexité.
Multi-résolution	<ul style="list-style-type: none"> • Maillages progressifs[24] • Codage par complexe simplicial progressif [25] • Approche MPEG-4 PFS [26] • Codage par décimation de sommets [27] • Codage par décomposition en niveaux [28] • Codage par décomposition en arbres Kd [29] • Approches par ondelettes [30] 	<ul style="list-style-type: none"> • Définition d'un ensemble d'opérations de simplification de maillage (suppression de sommets et/ou d'arêtes). • Transmission d'une version simplifiée du maillage à basse résolution, puis d'une information de raffinement pour reconstruction progressive. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnalité de transmission progressive sur des réseaux aux ressources limitées. • Efficacité de codage la plus élevée et légèrement supérieure à celle de l'approche mono-résolution [25] pour les approches par ondelettes, mais avec la perte irréversible de la connexité.

Tableau 1. Synthèse des principales approches de compression de maillages 3D.

la marque dans un format de données 3D précis et ne peuvent extraire la marque que si l'objet n'a pas changé de format après tatouage [31]. Par contre, ils ont l'avantage d'opérer en mode aveugle. D'autres algorithmes permettent de protéger la forme intrinsèque d'un objet 3D en en modifiant imperceptiblement la forme, et sont de ce fait robustes aux conversions de format, mais ils opèrent en mode non-aveugle [32, 33]. Un troisième type d'algorithme a pour but de protéger les représentations visuelles des objets 3D, et non pas les données 3D elles-mêmes. L'idée est d'enfouir le tatouage dans l'image de texture d'un objet 3D texturé et d'être capable d'extraire la marque dans n'importe quelle représentation 2D de l'objet [34]. Dans le cadre du projet SEMANTIC-3D chacune de ces trois modalités du tatouage d'objets 3D peut trouver une application, mais il faut en plus assurer un couplage efficace du tatouage avec les autres modules. Le tatouage doit être robuste à la compression et/ou ne doit pas trop diminuer les performances de la compression. Quant à l'indexation, elle peut aider à l'extraction du tatouage en mode non-aveugle en permettant de retrouver dans une base de données, l'objet original correspondant à un objet tatoué.

7 Conclusion

Nous avons rappelé les usages considérés dans ce projet SEMANTIC-3D, puis élaboré l'architecture mise en place en fonction des contraintes : grande variété des terminaux et des réseaux utilisés dans l'application industrielle. Nous avons ensuite présenté un état de l'art des méthodes d'indexation, de compression et de protection des objets 3D en précisant les orientations choisies.

8 Références

- [1] Site web SEMANTIC-3D : <http://www.semantic-3d.net/>
- [2] F. Mokhtarian and S. Abbasi, "Automatic View Selection in Multi-view Object Recognition", *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition*, Vol. 1, pp. 13-16, Barcelona, Spain, 2000.
- [3] M. Daoudi, S. Matusiak, "Visual image retrieval by multiscale description of user sketches", *Journal of Visual Languages and Computing*, Vol. 11, pp. 287-301, Special Issue on Image Database Visual Querying and Retrieval, 2000.
- [4] S. Mahmoudi, M. Daoudi, "Retrieval by shape using CSS and M-tree", *CBMI'03, Third International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing*, pp. 297-302, 2003.
- [5] J.-L. Chen and G. Stockman, "3D Free-Form Object Recognition Using Indexing by Contour Feature", *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 71, No 3, pp.334-355, 1998.
- [6] J.H. Yi and D.M. Chelberg, "Model-Based 3D Object Recognition Using Bayesian Indexing", *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 69, No 1, January, pp.87-105, 1998.
- [7] M.S. Costa, L.G. Shapiro, "3D objects recognition and pose with relational indexing", *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 79, pp. 364-407, 2000.
- [8] C. Zhang, T. Chen, "Efficient feature extraction for 2D/3D objects in mesh representation", *Proc. of the International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2001.
- [9] E. Paquet, M. Rioux, A. Murching, T. Naveen., A. Tabatabai, "Description of shape information for 2-D and 3-D objects", *Signal Processing: Image Communications*, Vol. 16, pp. 103-122, Sept. 2000.
- [10] C. Dorai, A.K. Jain, "Shape Spectrum-Based View Grouping and matching of 3D Free-Form Objects", *IEEE Trans. on PAMI*, Vol 19, No 10, pp. 1139-1145, Oct. 1997.
- [11] T. Zaharia, F. Prêteux, "3D-shape-based retrieval within the MPEG-7 framework", *SPIE Conf. on Nonlinear Image Processing and Pattern Analysis XII*, Vol. 4304, pp.133-145, Janv. 2001.
- [12] I.K Park., J.D. Kim, D.H. Kim, I.D. Yun, S.U. Lee, "Perceptual 3D shape descriptor: Result of core experiment", *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG03/M9481*, Thaïlande, Mars 2003.
- [13] J.W.H. Tangelder, R.C. Veltkamp, "Polyhedral model retrieval using weighted point sets", *Rapport technique no UU-CS-2002-019*, Université de Utrecht, Pays-Bas, 2002.
- [14] M. Hebert, K. Ikeuchi, H. Delingette, "A spherical representation for recognition of free-form surfaces", *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 17, No 7, pp. 681-90, Juil. 1995.
- [15] D. Zhang and M. Hebert, "Harmonic maps and their applications in surface matching", *Proceedings of the Int. Conf. on CVPR*, pp. 524-530, Juin 1999.
- [16] A. Johnson et M. Hebert, "Using spin-images for efficient multiple model recognition in cluttered 3-d scenes", *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 21, No. 5, pp. 433-449, Mai 1999.
- [17] T. Zaharia, F. Prêteux, "Descripteurs de forme : Etude comparée des approches 3D et 2D/3D", Actes Congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA), 2004.
- [18] X. Xiang, M. Held, J. Mitchell,, "Fast and efficient stripification of polygonal surface models", *ACM Symposium on Interactive 3D Graphics*, pp. 71-78, 1999.
- [19] J. Rossignac, "Edgebreaker: Connectivity compression for triangle meshes", *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, Vol. 5 No 1, pp. 47-61, 1999.
- [20] G. Taubin, J. Rossignac, "Geometric compression through topological surgery", *ACM Trans. Graphics*, Vol. 17 No 2, pp. 84-115, 1998.
- [21] C. L. Bajaj, V. Pascucci, G. Zhuang, "Single resolution compression of arbitrary triangular meshes with properties", *Computational Geometry: Theory and Applications*, 14, 1999.
- [22] C. Touma, C. Gotsman,, "Triangle mesh compression", *Proc. of Graphics Interface*, pp. 26-34, 1998.
- [23] P. Alliez, M. Desbrun, "Valence-driven connectivity encoding for 3D meshes", *Proc. EUROGRAPHICS'2001*, pp. 480-489, 2001.
- [24] H. Hoppe, "Progressive meshes", *Proc. ACM SIGGRAPH 1996*, pp. 99-108, 1996.
- [25] J. Popovic, H. Hoppe, "Progressive simplicial complexes", *ACM SIGGRAPH 1997*, pp. 217-224, 1997.
- [26] G. Taubin, A. Guezic, W. Horn, F. Lazarus, "Progressive forest split compression", *ACM SIGGRAPH 1998*, pp. 123-132, 1998.
- [27] P. Alliez, M. Desbrun,, "Progressive encoding for lossless transmission of triangle meshes", *ACM SIGGRAPH 2001*, pp. 198-205, 2001.
- [28] C. Bajaj, V. Pascucci, G. Zhuang, "Progressive compression and transmission of arbitrary triangular meshes", *IEEE Visualization*, pp. 307-316, 1999.
- [29] P.M. Gandoin, O. Devillers, "Progressive lossless compression of arbitrary simplicial complexes", *ACM Trans. Graphics*, Vol. 21 No 3, 372-379, 2002.
- [30] Khodakovsky, P. Schröder, W. Sweldens, "Progressive geometry compression", *ACM SIGGRAPH 2000*, pp. 271-78, 2000.
- [31] Y. Ohbuchi, H. Masuda, M. Aono, "Geometrical and Non-Geometrical targets for Data Embedding in Three-Dimensional Polygonal Models", *Computer Communications*, Elsevier, 1998.
- [32] O. Benedens, "Watermarking of 3D polygon-based models with robustness against mesh simplification", *Proc. of SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Contents*, pp. 329-340, 1999.
- [33] E. Praun, H. Hoppe, A. Finkelstein, "Robust Mesh Watermarking", *ACM SIGGRAPH 99*, August 1999.
- [34] E. Garcia, J.-L. Dugelay, "Texture-Based Watermarking of 3D Video Objects", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, August 2003.