

Tatouage hybride des images 3D

Saoussen Ben Jabra et Ezzeddine Zagrouba

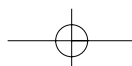
Equipe de Recherche "Systèmes Intelligents en Imagerie et Vision Artificielle" (URSIIVA)
Institut Supérieur Informatique
2 Rue Abou Raihane Bayrouni, 2080, Ariana
TUNISIE
Saoussen.bj@laposte.net

RÉSUMÉ. Dans cet article nous proposons une nouvelle approche de tatouage 3D qui se base sur une segmentation 3D de l'image originale. A l'opposé des méthodes qui utilisent un seul espace d'insertion, nous cherchons ici à combiner plusieurs espaces dans un seul schéma afin de profiter des avantages de chaque espace. En effet, l'image originale sera segmentée en plusieurs régions grossières. Ces dernières seront ensuite tatouées en utilisant le schéma de tatouage adéquat en se basant sur leurs valeurs de courbure. Les expérimentations ont prouvé qu'en plus de la bonne qualité visuelle, et la détection aveugle cette nouvelle approche présente une bonne robustesse face à nombreuses attaques telles que les transformations géométriques, le remaillage, le bruit...

ABSTRACT. In this paper, a robust 3D triangular mesh watermarking algorithm based on 3D segmentation is proposed. In this algorithm three classes of watermarking are combined. First, we segment the original image to many different regions. Then we mark every type of region with the corresponding algorithm based on their curvature value. The experiments show that our watermarking is robust against numerous attacks including RST transformations, smoothing, additive random noise, cropping, simplification, compression and remeshing. In addition, this watermarking allows a good invisibility of the marked image and a blind extraction of the signature.

MOTS-CLÉS : tatouage d'image, segmentation 3D, robustesse aux attaques.

KEYWORDS: image watermarking, 3D segmentation, attacks.



1. Introduction

De nos jours, l'utilisation des images 3D dans de nombreuses applications est devenue relativement aisée. Ces images sont de plus en plus utilisées dans la réalité virtuelle, l'imagerie médicale, les jeux vidéo et la conception assistée par ordinateur. Elles sont principalement représentées par des maillages polygonaux. Fondamentalement, un maillage est une collection de facettes polygonales. Il possède trois éléments essentiels : sommets, arêtes et facettes. Il peut être aussi décrit par deux genres d'information : la géométrie qui définit essentiellement les coordonnées des sommets et la topologie qui décrit les relations de connectivité entre les différents sommets. Malgré qu'il existe d'autres représentations 3D telles que le nuage de points et les surfaces NURBS [9], les maillages sont les plus utilisés pour les traitements des objets 3D grâce à leur simplicité. Le tatouage, dérivé de la stéganographie, représente une bonne technique pour résoudre le problème de copyright. Il consiste à insérer, généralement sous forme invisible, une signature dans une image, et d'essayer de la détecter après toute tentative d'attaque appliquée à l'image tatouée. Cette détection peut être aveugle ou non selon que l'image originale est présente lors de l'extraction ou pas. Généralement, la signature doit être robuste aux attaques malveillantes telles que les transformations géométriques, le remaillage, la coupe, la simplification, etc. Dans la section suivante, un état de l'art du tatouage 3D sera brièvement présenté. Ensuite, une nouvelle approche hybride de tatouage 3D sera détaillée dans la section 3. Les évaluations expérimentales feront l'objet de la section 4. Enfin, nous présentons nos conclusions ainsi que quelques perspectives.

2. Etat de l'art du tatouage 3D

En le comparant avec le tatouage des autres types de multimédias tel que les images 2D, le texte et le son, le tatouage 3D est relativement nouveau et non mûr. Les méthodes existantes en tatouage 3D peuvent être classées en deux catégories principales en se basant sur le domaine de l'insertion utilisé. En effet, la signature peut être insérée soit dans le domaine spatial en modifiant la géométrie (les positions des points) [2] ou la topologie (la connectivité) de l'objet original, soit dans le domaine spectral en modifiant les coefficients spectraux de l'objet original. Harte et al. [1] proposent un schéma qui modifie les positions des sommets en les déplaçant de l'intérieur de l'ellipsoïde formé par leurs voisins vers son extérieur si le bit à insérer est 0 et inversement si le bit à insérer est 1. Parmi les schémas qui modifient la topologie [3,4] Ohbuchi et al ont proposé quatre schémas différents : Triangle Similarity Quadruple (TSQ), Tetrahedral Volume Ratio (TVR), Triangle Strip Peeling Sequence (TSPS) et Macro Density Pattern (MDP). La différence entre ces quatre schémas se présente dans

l'invariant utilisé pour l'insertion. Pour les méthodes de tatouage spectral, ils peuvent utiliser soit la décomposition spectrale, soit la transformation ondelette [6], soit la transformation sphérique du maillage original. Ohbuchi et al [5] ont présenté un schéma de tatouage qui modifie les basses fréquences du spectre par addition. Le tatouage 3D peut aussi modifier d'autres attributs comme la texture, les contours... [7] sépare la texture du maillage géométrique et marque la signature en utilisant un algorithme de tatouage 2D. Bennour et al [8] présentent une autre méthode différente qui consiste à insérer la marque dans la silhouette de l'objet 3D et de la détecter à partir des vues 2D. Le tatouage 3D peut aussi utiliser la modélisation NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines). Une surface NURBS est composée d'un ensemble de points de contrôle et leurs poids. Le principe de [9] est de changer les points de contrôle et leurs poids de façon à préserver la géométrie globale de l'objet original. En se basant sur l'état de l'art nous pouvons construire le tableau comparatif présenté par la table 1. La comparaison est basée sur les trois critères les plus importants que doit vérifier un algorithme de tatouage : L'invisibilité, la robustesse et le type de la détection (aveugle ou non).

Critère		Invisibilité	Robustesse	Détection
Classe	Géométrique	+	Attaques géométriques	Aveugle
	Topologique	+	Remaillage+ Simplification	Aveugle
Spectral		+ (basses fréquences)	Cropping + filtrage	Dépend de la transformée utilisée
NURBS		+	Attaques géométriques + simplification	Non aveugle
Autres attributs		+	Attaques 2D	Non aveugle

Table 1. *Tableau comparatif*

3. Le tatouage 3D hybride

En se basant sur l'étude comparative, nous avons remarqué que toute méthode de tatouage 3D présente ses avantages et ses inconvénients. En plus, c'est très difficile de trouver une méthode qui vérifie un bon compromis entre la qualité visuelle de l'image marquée, la robustesse au maximum des attaques possibles et la détection aveugle. L'idée que nous avons conçue consiste à profiter des avantages de chaque méthode en

combinant trois classes de tatouage 3D dans le même schéma. Les trois classes utilisées sont la classe géométrique, la classe topologique et la classe spectrale. Ce choix nous permettra d'obtenir une robustesse face aux attaques géométriques due à l'utilisation du tatouage géométrique plus une robustesse face au remaillage et à la simplification grâce à l'utilisation du tatouage topologique et une robustesse face au filtrage et l'ajout de bruit en utilisant le tatouage spectral. En plus, la détection sera aveugle puisque ces trois classes ne nécessitent pas la présence de l'image originale lors de la détection. Ce but peut être atteint par l'intermédiaire d'une segmentation 3D grossière qui décomposera l'image originale en un ensemble de régions ayant des propriétés différentes. Ces dernières seront classifiées selon la valeur de leur courbure et tatouées en utilisant la classe de tatouage adéquate. La répétition de la signature dans les différentes régions permettra aussi au tatouage d'être robuste au cropping puisque si on perd une région après cette attaque, on trouvera la signature dans les autres régions.

3.1. Insertion de la signature

L'insertion se compose de trois étapes principales : la segmentation de l'image originale, la classification des régions et leur marquage. Figure 1 représente l'architecture globale de l'insertion.

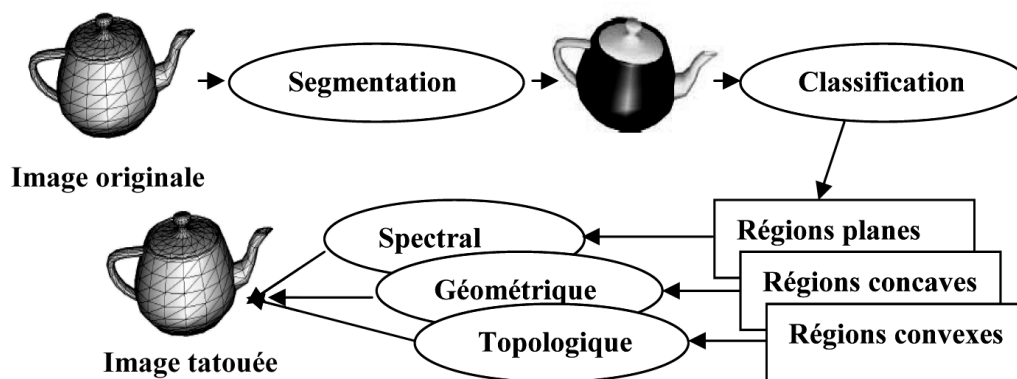


Figure 1. Insertion de la marque

3.1.1. Segmentation

La segmentation 3D permet de décomposer un maillage 3D en un ensemble de maillages connectés. La méthode de segmentation que nous avons choisie est celle proposée par L.Guillaume [10]. Ce choix est basé sur la capacité de cet algorithme de détecter des régions grossières ayant différentes propriétés de courbure. Cet algorithme

de segmentation consiste à décomposer la surface de la maille triangulaire 3D en un ensemble de régions de courbures presque constantes. La segmentation par une telle approche se réalise en quatre étapes. Elle commence par estimer la courbure pour chaque point du maillage puis de classer ces points en fonction de leurs courbures. La méthode de classification adoptée est implémentée par l'algorithme K-means. Ensuite un graphe d'adjacence est créé par croissance des régions. Enfin, ce graphe d'adjacence sera réduit par fusion des régions.

3.1.2. Classification des régions

La classification des différentes régions obtenues après la segmentation est réalisée en utilisant les mesures de courbure gaussienne et courbure moyenne de chaque région. En effet, en utilisant ces deux mesures, on peut classer les régions en trois classes : régions convexes ayant une courbure moyenne positive et une courbure gaussienne positive, régions concaves ayant une courbure moyenne négative et une courbure gaussienne positive et régions planes ayant une courbure gaussienne presque nulle. L'estimation de la courbure moyenne se fait en utilisant l'équation (1) :

$$K_m(X) = \frac{1}{2A} * \sum_{j \in N(i)} (\cot \alpha_j + \cot \beta_j) (X_j - X) \quad (1)$$

Avec α_i et β_i sont les deux angles du côté $e(i,j)$, A est la surface de Voronoï au point X et $N(i)$ est le voisinage du point X . Le calcul de la courbure gaussienne se fait en utilisant l'équation (2) :

$$K_g(X) = \frac{1}{2A} * (2 * \Pi - \sum_{i=1,n} v_i) \quad (2)$$

Avec n est le nombre de triangles dont i appartient. Ces deux critères sont calculés pour chaque région pour la qualifier comme étant concave, convexe ou plane.

3.1.3. Marquage des régions

Après la classification des différentes régions obtenues par la segmentation, il faut adapter les différents algorithmes aux régions pour obtenir une qualité visuelle maximale de l'image tatouée. Cette adaptation est basée d'une part sur l'étude comparative des méthodes existantes et d'autre part sur des mesures expérimentales. En effet, d'après la comparaison des méthodes existantes, on remarque que le tatouage spectral donne le maximum de l'invisibilité lorsque l'insertion se fait dans les zones de basses fréquences. Ces zones correspondent aux régions planes de l'objet à tatouer. Donc les zones planes seront tatouées par un tatouage spectral. Pour les deux autres algorithmes, des mesures expérimentales ont été menées pour tester la quelle des combinaisons donne la meilleure qualité visuelle de l'image tatouée. Pour cela, nous avons testé deux cas. Dans le premier nous avons adapté le tatouage géométrique pour les régions convexes et le tatouage topologique pour les régions concaves et pour le deuxième cas nous avons testé l'inverse. Les mesures de l'invisibilité ont permis de

choisir le deuxième cas puisque ces mesures sont maximales pour ce cas. La table2 montre l'adaptation choisie.

Courbure	Type de région	Algorithme de tatouage
$K_m > 0$ et $K_g > 0$	convexe	Topologique
$K_m < 0$ et $K_g > 0$	concave	Géométrique
$K_g = 0$	Plane	Spectral

Table 2. Adaptation des algorithmes de tatouage au type de régions

3.2. Détection de la signature

La détection consiste à vérifier l'existence d'une signature pour une image en entrée. Le schéma de détection se compose aussi de trois étapes dont les deux premières sont identiques à celles de l'insertion. En effet, le même algorithme de segmentation sera appliqué sur l'image à tester pour obtenir différentes régions qui seront classifiées en utilisant les deux mesures de courbure utilisées dans l'étape d'insertion. Selon la nature de chaque région on lui appliquera le détecteur adéquat. C'est à dire le détecteur spectral sera appliqué aux régions planes, le détecteur géométrique pour les régions concaves et le détecteur topologique pour les régions convexes. Chaque détecteur répondra par « 1 » si la région est tatouée et « 0 » sinon. L'algorithme décidera de l'absence de la signature si aucun des détecteurs ne répondra par « 1 ».

4. Expérimentations

Nous avons testé notre approche sur un ensemble hétérogène d'images dont on présente quatre exemples dans la figure2. Ces images sont « Fandisk » avec 6475 points et 12946 triangles, « Cow » avec 2903 points et 5804 triangles, « Porsche » avec 5247 points et 10474 triangles et « Teapot » avec 530 points et 1024 triangles.

Concernant l'invisibilité du tatouage, les résultats expérimentaux obtenus ont prouvé que les images originales et celles tatouées sont identiques à l'œil nue donc notre tatouage admet une bonne qualité visuelle. Pour assurer cette qualité, nous avons effectué une évaluation expérimentale en mesurant la dégradation de la qualité visuelle de l'image tatouée. Nous avons utilisé la mesure la plus utilisée pour estimer l'invisibilité c'est le SNR (Signal to Noise Ratio). Nous avons calculé les SNR pour toutes nos images test tatouées avec le tatouage hybride. Les résultats obtenus ont prouvé la bonne qualité de notre tatouage. En effet, le maximum de cette mesure est $6.32 * 10^{-3}$ obtenu pour l'image « Porsche » possédant le plus grand nombre de régions. Concernant la robustesse de notre tatouage, nous avons appliqué les attaques suivantes aux images tatouées : différentes translations, rotations et changements d'échelle, des

Cropping des sommets des images tatouées avec des pourcentages différents, ajout de bruit aux sommets tatoués, remaillage de la géométrie l'objet 3D tatoué, et simplification en supprimant des nombres variables de sommets. Notre détecteur a pu prouver la présence de la signature après l'application de toutes ces attaques. Le tatouage hybride est donc robuste face à toutes ces attaques et ceci est obtenu grâce à la combinaison des différentes classes de tatouage dans le même schéma. En plus, notre tatouage est bien aveugle puisque la détection ne nécessite pas l'utilisation de l'image originale.



Figure 2. Résultats de la segmentation et du tatouage hybride : la première ligne présente les images originales, la deuxième présente la segmentation et la dernière les images tatouées.

5. Conclusions et perspectives

Dans ce papier, nous avons présenté une nouvelle approche de tatouage 3D basée sur la segmentation. Dans ce schéma, nous avons combiné trois classes de tatouage 3D dans un même schéma. Ceci est réalisé grâce à une segmentation grossière qui a permis de décomposer l'image originale en plusieurs régions ayant des propriétés de courbure différentes. Ensuite nous avons tatoué chaque type de régions par l'algorithme de tatouage adéquat en se basant sur la mesure de courbure de chaque région. Les mesures

expérimentales ont permis de déduire que cette nouvelle approche est robuste à de nombreuses attaques telles que les transformations géométriques, le cropping, la simplification et le remaillage etc... En plus, ce nouveau tatouage présente une détection aveugle et une bonne qualité visuelle. Comme perspective, ce travail peut être amélioré en sélectionnant des régions ayant de fortes propriétés d'invariance aux attaques possibles. Ceci peut augmenter la robustesse de la méthode tout en préservant la qualité visuelle de l'image tatouée.

6. Bibliographie et biographie

- [1] T. Harte and A. Bors. Watermarking 3d models. *In Proc. of Int. Conf. on Image Proc. (ICIP)*, Rochester, NY, USA., 2002.
- [2] O. Benedens. Two high capacity methods for embedding public watermarks into 3d polygonal models. *In Proc. of the Multimedia and Security Workshop at ACM Multimedia 99*, Orlando, FL, pages 95-96, 1999.
- [3] R. Ohbuchi, H. Masuda, and M. Aono. Watermarking three-dimensional polygonal models through geometric and topological modifications. *In IEEE JSAC*, pages 551-560, May 1998.
- [4] O. Benedens. Geometry-based watermarking of 3d models. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19(1):46-55, January 1999.
- [5] R. Ohbuchi, A. Mukaiyama, and S. Takahashi. A frequency-domain approach to watermarking 3d shapes. *Computer Graphics Forum*, 21(3), 2002.
- [6] S. Kanai, H. Date, and T. Kishinami. Digital watermarking for 3d polygons using multiresolution wavelet decomposition. *In Proc. Sixth IFIP WG 5.2 GEO-6*, Tokyo, Japan, pages 296-307, December 1998.
- [7] E. Garcia and J.-L. Dugelay. Texture-based watermarking of 3d video objects. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Techn.*, 13(8):853-866, 2003.
- [8] J. Bennour and J.-L. Dugelay. Protection of 3d object through silhouette watermarking. *In ICASSP 2006, 31st International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Toulouse, France, May 14-19, 2006.
- [9] J.J. Lee, N.I. Cho, and J.W. Kim, "Watermarking for 3D NURBS graphic data", in *Proc. of the IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing*, 2002, pp. 304-307.
- [10] L. Guillaume, D. Florent, and B. Atila, Constant curvature region decomposition of 3d meshes by a mixed approach vertex-triangle, *Journal of WSCG*, Vol.12(2004), no.1-3.