Protection de l'utilisation d'un objet vidéo 3D par tatouage de sa texture*

E. Garcia[1] J.-L. Dugelay[1]

[1]Institut Eurécom

2229 route des Crêtes, B.P. 193, 06904 Sophia-Antipolis, France

{garciae, dugelay}@eurecom.fr

Résumé

Dans cet article nous proposons une nouvelle approche pour le tatouage d'objets 3D qui se base sur l'information de texture. A l'opposé des techniques existantes qui cachent des informations dans la description géométrique 3D d'un objet, nous cherchons ici à protéger l'ensemble des images où pourrait figurer l'objet, et non sa description informatique en tant que telle. Après avoir détaillé notre approche et ses contraintes, nous présentons les résultats d'expériences menées dans un environnement controlé (paramètres de rendu 2D complètement connus) et qui donnent une indication numérique quant aux performances limites de notre procédé de tatouage d'objets 3D.

Mots clefs

Tatouage, objets video 3D, texture.

1 Introduction

Avec l'avènement de l'imagerie virtuelle, la possibilité de créer des objets 3D ayant une apparence photo-réaliste (e.g. clones humains), et la possibilité de les combiner à des vidéos réelles, de nouvelles préoccupations vont apparaître. On pourrait par exemple vouloir vérifier si un objet d'une vidéo est synthétique ou naturel, si son utilisation est autorisée ou pas, ou encore obtenir des informations supplémentaires sur cet objet. Nous pensons que le tatouage des objets 3D peut apporter des solutions à ces questions.

De manière générale, le tatouage d'un objet/document multimédia, consiste à y cacher un message de manière invisible et robuste. Suivant l'application, ce message peut contenir des informations sur le propriétaire (copyright), l'image même (e.g. pour l'authentification ou l'indexation) ou l'acheteur (e.g. pour la non-répudiation). Il est ensuite possible de récupérer le message à n'importe quel moment, même si le document a subi une modification non destructive (malveillante ou non) [1].

Pour autant que nous sachions [4], tous les travaux précédents dans le domaine du tatouage d'objets 3D utilisent la géométrie et la topologie de l'objet. Typi-

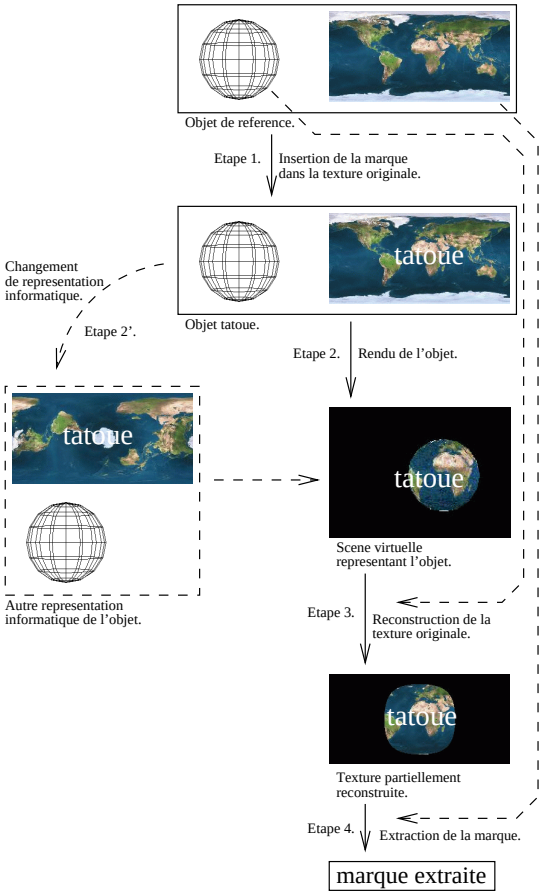


Figure 1 : *Principe général.*

* Ces travaux ont été soutenus en partie par le projet EU Certimark [3].

quement il est proposé de modifier légèrement les coordonnées de certains sommets ou la connectivité des triangles d'un maillage pour dissimuler des informations [5, 6, 7]. Cela permet de protéger le document qui décrit l'objet 3D, mais pas les représentations visuelles 2D de l'objet car pour cela il faudrait pouvoir récupérer des informations cachées dans une description géométrique 3D à partir de simples projections 2D ce qui nous semble peu réaliste; il est en effet déjà difficile de récupérer la géométrie d'un objet 3D à partir d'une ou plusieurs vues 2D avec précision. C'est pourquoi nous proposons de cacher des informations dans l'image de texture associée à un objet 3D. Comme nous allons le montrer, il est possible de reconstruire cette texture à partir de vues 2D afin d'en extraire les informations cachées.

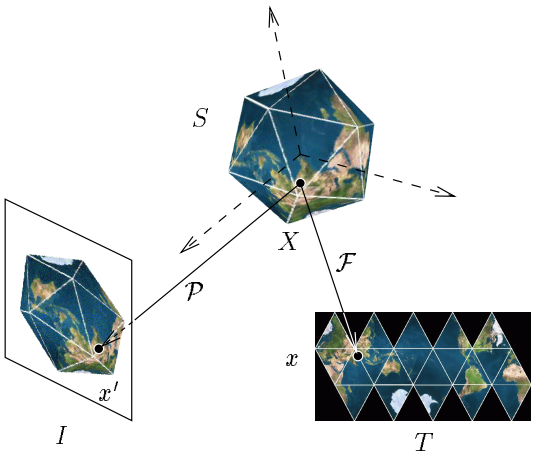


Figure 2 : *Texturage et rendu d'un objet 3D.*

2 Description de notre procédé de tatouage d'objets 3D

2.1 Principe général

La figure 1 donne le principe de notre procédé de tatouage d'objets 3D. Etant donné un objet 3D composé d'une description géométrique et d'une image de texture (associée à la donnée d'une fonction de mise en correspondance de chaque point de l'objet 3D avec un point de cette image de texture), nous cachons certaines informations dans l'objet en tatouant son image de texture (étape 1) à l'aide d'un algorithme de tatouage d'images fixes éventuellement adapté aux spécificités que peut présenter notre approche. Une fois tatoué, cet objet peut être mis à disposition et représenté dans des scènes virtuelles (étape 2). Nous pouvons alors vérifier que l'objet est marqué en reconstruisant l'image de texture tatouée (étape 3) à partir de la vue de l'objet, et en extrayant finalement la marque (étape 4) de cette image de texture reconstruite.

Remarquons que cette opération peut être effectuée même si la représentation informatique de l'objet a été modifiée après le tatouage et avant le rendu à partir du moment où l'apparence de l'objet observé n'en est pas affectée (étape 2'). Une telle modification pourrait avoir pour but de détériorer la marque ou de changer de format de fichier ou encore de simplifier le maillage de l'objet par exemple.

Une seule vue de l'objet ne permet généralement que la reconstruction partielle de l'image de texture originale. Il pourrait donc être utile de reconstruire différentes parties de la texture à l'aide de différentes vues puis de les fusionner pour disposer d'une texture plus complète avant l'extraction de la marque. Ceci est particulièrement pertinent dans le cas de séquences vidéo présentant un même objet sous différents points de vue.

2.2 Mise en oeuvre

Comme illustré par la figure 2,

- soit S l'ensemble des points 3D de la surface de l'objet 3D,
- soit I une vue perspective 2D de l'objet 3D,
- soit T l'image de texture à reconstruire,
- soit $\mathcal{F} : S \rightarrow T$ la fonction de mise en correspondance de l'objet 3D avec la texture de référence,
- soit $\mathcal{P}$ la projection de l'espace 3D de l'objet vers l'espace 2D de l'image I.

La principale difficulté pour reconstruire T à partir de I est de connaître $\mathcal{P}$. En supposant cette projection connue, on reconstruit la partie de la texture T qui est visible dans l'image I ainsi :

1. on considère chaque pixel x de T;
2. on calcule $X = \mathcal{F}^{-1}(x)$ (s'il existe);
3. on calcule les coordonnées du pixel $x' = \mathcal{P}(X)$ de l'image I où se projette X;
4. on regarde si X est bien visible au point x' dans l'image I;
5. dans le cas où X est bien visible en x' dans I, on fixe la couleur de x comme étant celle de x'.

La quatrième étape est nécessaire car plusieurs points de l'objet 3D pourraient se projeter sur le même pixel x' de I mais un seul d'entre eux serait effectivement visible en x' (du moins si l'objet est opaque, ce que nous supposons). Pour cela nous utilisons une technique de Z-buffer associé à l'image I.

Remarquons enfin que x' n'ayant généralement pas des coordonnées entières, il faut faire un choix concernant

la manière dont la couleur est interpolée en ce point à partir des pixels voisins. Nous avons simplement utilisé la règle du "plus proche voisin". Il n'est pas évident qu'une autre interpolation permette d'obtenir de meilleurs résultats en ce qui concerne l'extractibilité de la marque depuis l'image de texture reconstruite. Nous avons en fait testé d'autres méthodes d'interpolation (dont bilinéaire) mais aucune différence significative n'ayant été décelée dans les résultats, nous en sommes resté au plus proche voisin.

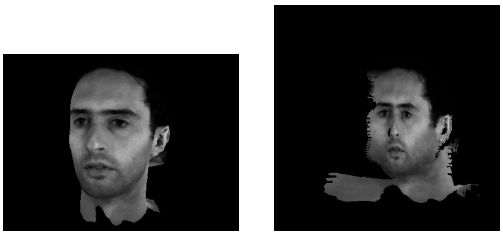
3 Résultats expérimentaux

Nous avons effectué de nombreuses expériences pour mesurer le potentiel et les limites de notre approche. Nous reportons ici les résultats d'une expérience qui nous sert de point de repère car effectuée dans des conditions idéales. Dans cette expérience nous avons marqué la texture d'un objet 3D (figure 3) avec une visibilité de 38dB à l'aide du logiciel Euremark de l'Institut Eurécom [8] et nous avons évalué la capacité versus la robustesse de notre procédé.
Cet a été placé dans une scène 3D virtuelle où il figurait seul et sans éclairage synthétique, c'est à dire en représentant les couleurs de l'objet telles qu'elles sont définies dans l'image de texture, et sans les altérer par un éclairage de synthèse.
Cet objet a ensuite été observé dans une image 2D et la projection utilisée pour la représentation perspective de l'objet était connue lors de la reconstruction de la texture.
Pour chaque expérience nous avons calculé le nombre de pixels de texture indépendants qui ont pu être récupérés à partir de la vue 2D de l'objet considérée.

a b

Figure 3 : *Objet original, maillage (gauche) et image de texture (droite).*

La figure 3 montre l'objet utilisé dans nos expériences. La figure 4 montre une vue 2D de l'objet ainsi que l'image de texture que cette vue a permis de reconstruire en utilisant le procédé décrit dans la section 2. La figure 5 montre une vue de l'objet prise du même point de vue que pour la figure 4 mais avec un facteur d'échelle (zoom) différent, ainsi que l'image de texture qu'elle a permis de reconstruire. On observe que l'objet apparaissant plus petit, la texture reconstruite est de moindre résolution, et on peut s'attendre à ce qu'il soit plus difficile d'en extraire une marque initialement cachée dans l'image de texture d'origine.



a b

Figure 4 : *Une vue 2D de l'objet (gauche) et l'image de texture reconstruite correspondante (droite).*

a b

Figure 5 : *Même vue que dans la figure 4 mais avec un facteur d'échelle différent (gauche) et l'image de texture reconstruite correspondante (droite).*

La figure 6 montre le résultat de l'extraction d'une marque de 64 bits qui avait été cachée dans la texture de l'objet en utilisant la même vue que dans les figures 4 et 5 mais en faisant varier le facteur d'échelle, et donc le nombre de pixels de texture visibles (en abscisse). Nous avons approximé le nombre bits erronnés en fonction du nombre de pixels visibles distincts par une courbe de la forme $\frac{y}{64} = \frac{1}{2}erfc(\alpha x^{\beta})$. Bien que ce choix soit en partie arbitraire, il peut être justifié par l'idée que le nombre de pixels de texture visibles est assimilable à une quantité d'information, que $\frac{y}{64}$ représente le taux d'erreur sur les bits, et que nous pouvons alors espérer obtenir une loi proche de la loi du taux d'erreur en fonction du rapport signal sur bruit dans le cas des canaux bruités en télécommunications (i.e. $p = \frac{1}{2}erfc(SNR^{\frac{1}{2}})$).
Enfin, la figure 7 montre les résultats obtenus en cachant et en essayant de récupérer une marque de 256 bits dans les mêmes conditions.

Conclusion

L'idée développée dans cet article est de protéger l'utilisation d'un objet 3D, plutôt qu'une représentation informatique particulière de l'objet lui-même, en ta-

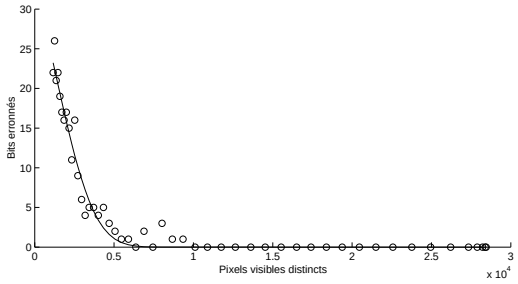


Figure 6 : *Marque de 64 bits. Vue de la figure 4 avec un facteur d'échelle variable.*

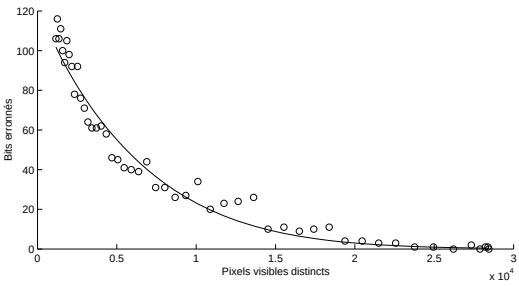


Figure 7 : *Marque de 256 bits. Vue de la figure 4 avec un facteur d'échelle variable.*

touant son image de texture dans une représentation de référence donnée.

Nous avons montré que cela est faisable sous certaines hypothèses. En particulier, nous devons connaître l'objet 3D de référence (géométrie et texture) ce qui signifie que nous opérons en mode non-aveugle. Ensuite, nous devons autant que possible connaître les paramètres du rendu 2D à commencer par la position de l'objet dans l'espace par rapport à la caméra virtuelle ainsi que les paramètres intrinsèques de cette caméra.

Nous avons mené plusieurs expériences pour estimer les performances de notre approche en l'absence d'attaques, plus précisément nous avons mesuré le compromis capacité/robustesse avec une visiblité fixe de 38dB. Dans l'expérience dont nous avons reporté les résultats, nous utilisons une vue 2D d'un modèle de visage humain dont nous connaissons parfaitement les paramètres de rendu. Nous avons varié le facteur d'échelle de la vue puis mesuré le taux d'erreur sur les bits d'une marque de 64 bits (puis 256 bits) en fonction du nombre de pixels de texture visibles dans la vue 2D. Dans les conditions de cette expérience il faut environ 10000 pixels de texture visibles (soit un carré de 100 par 100) pour qu'une marque de 64 bits soit récupérée sans aucune erreur.

Ces résultats donnent une estimation de la limite supérieure des performances qu'on peut attendre de notre procédé. Maintenant ce qui compte c'est de se placer dans des conditions plus réalistes (projection perspective inconnue a priori et présence d'un éclairage synthétique) et de développer des algorithmes (en particulier de recalage projectif entre un objet 3D et une vue 2D, et si possible insensibles aux conditions d'éclairage) qui permettent de s'en affranchir.

Références

[1] Katzenbeisser (S.), Petitcolas (F. A.P.), *Information Hiding - Techniques for Steganography and Digital Watermarking*, Artech House, Boston-London, 2000.

[2] *Special Session on Watermarking for Industrial Applications*, 2001 IEEE Fourth Workshop on Multimedia Signal Processing, October 3-5, Cannes.

[3] European Project - IST-1999-10987, *CERTIMARK - Certification for watermarking technique*, http://www.certimark.org.

[4] C. Mallauran, *Internship Report on 3-D Video Objects Watermarking*, Eurécom/ESSI-UNSA, September 2001.

[5] Olivier Benedens, *Watermarking of 3D polygon based models with robustness against mesh simplification*, Proceedings of SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Contents, SPIE, pp. 329-340, 1999.

[6] Yutarou Ohbuchi, Hiroshi Masuda, Masaki Aono, *Geometrical and Non-Geometrical Targets for Data Embedding in Three-Dimensional Polygonal Models*, Computer communications, Elsevier, August 1998.

[7] E.Praun, H.Hoppe, A.Finkelstein, *Robust Mesh Watermarking*, ACM Siggraph 99 Conference Proceedings, Los Angeles, California, August 1999.

[8] J.-L. Dugelay & C. Rey, *Image Watermarking for Owner and Content Authentication*, ACM Multimedia, Los Angeles, California, US, November, 2000.