Méthode Jointe de Tatouage et Compression Draco pour les Objets 3D

B. Jansen van Rensburg^{1,2}

A. G. Bors³

W. Puech¹ *

¹ LIRMM, Univ. Montpellier, CNRS, Montpellier, France
² Stratégies, Rungis, France
³ University of York, York, Royaume-Uni

Résumé

De nos jours, les objets 3D jouent un rôle de plus en plus important dans différents domaines, surtout avec le développement du métaverse. Ces objets 3D sont parfois très grands et nécessitent énormément ressources pour le stockage et la transmission. La compression des objets 3D peut résoudre ce problème. Les objets 3D doivent également être sécurisés pendant leur stockage et leur transmission. Des mesures de sécurité, comme les droits d'auteurs et l'authentification sont donc essentielles. Dans cet article, nous proposons une méthode jointe de tatouage et compression des objets 3D basée sur Draco. Pour cela, nous proposons d'intégrer une étape de tatouage pendant la compression Draco, méthode de compression 3D proposée par Google, qui devient actuellement le standard industriel. Notre méthode conjointe permet d'obtenir une grande capacité d'insertion pouvant être utilisée pour la protection des droits d'auteurs par exemple.

Mots clefs

Tatouage 3D, sécurité multimédia, compression Draco, sécurité des objets 3D, compression des objets 3D.

1 Introduction

De nos jours, les objets 3D sont utilisés dans de nombreux domaines de la vie quotidienne. Ils sont souvent stockés et partagés en ligne au cours de leur existence. La plupart du temps, ces objets 3D sont constitués de millions de sommets, et donc très consommateurs en termes de temps et de ressources. Dans un environnement industriel, ces objets 3D sont des biens importants, et permettent de représenter des données confidentielles. Il est donc essentiel que ces objets 3D soient à la fois compressés et sécurisés pendant leurs transmissions et leurs archivages.

Il existe deux catégories principales de méthodes de sécurisation des objets 3D. La première étant le chiffrement, qui rend les objets 3D illisibles avec une clé secrète afin de protéger leur confidentialité visuelle. La deuxième est l'insertion des données cachées ou tatouage, qui insère des données dans un objet 3D de façon invisible. Le tatouage peut être utilisé pour insérer les droits d'auteurs, des données avec une haute capacité, ou assurer l'intégrité d'un objet 3D.

Pour la compression d'objets 3D, en 1999, Rossignac a proposé Edgebreaker, une méthode qui compresse la connectivité d'un objet 3D [1]. Cette méthode parcourt les triangles d'un objet 3D avec un depth-first spiralling spanning tree. En 2014, Google a proposé le schéma Draco pour la compression des objets 3D, qui devient le standard industriel [2]. En 2019, Cao et al. a établi un état de l'art sur la compression des nuages des points [3]. Concernant le tatouage d'objets 3D, en 2007, Cho et al. ont proposé une méthode statistique, où les données sont insérées dans la distribution des normales des sommets [4]. En 2010, Wang et al. ont créé un référence pour le tatouage 3D [5]. En 2013, Bors et Luo ont proposé une méthode de tatouage qui minimise la distorsion de la surface [6]. En 2018, Zhang et al. ont proposé une méthode de tatouage réversible basée sur l'expansion et le tri des erreurs de prédictions [7].

Les méthodes jointes de tatouage et compression sont des challenges en image [8] et en 3D [9, 10]. En effet, ces deux codages modifient les mêmes domaines de la représentation des données 3D et donc s'interfèrent entre eux. En 2009, Abdallah *et al.* ont développé une méthode jointe de tatouage et compression où les données sont insérées dans le domaine spectral d'un sous-maillage Laplacien [9]. En 2011, Lee *et al.* ont décrit une méthode jointe de tatouage et compressive où les données sont insérées dans chaque niveau de détail d'un objet 3D [10]. Alors que Jansen van Rensburg *et al.* ont proposé une méthode de crypto-compression basée sur Draco [11], à ce jour il n'existe aucune méthode de tatouage pour les objets 3D compressés avec Draco.

Dans cet article, nous proposons une méthode jointe de tatouage et compression pour les objets 3D basée sur Draco. Nous intégrons une étape de tatouage entre l'étape de quantification des sommets et l'étape de prédiction des sommets, pendant la phase d'encodage de Draco. L'extraction des données cachées est effectuée pendant la phase de décodage de Draco, avant que les sommets ne soient reconstruits.

Cet article est organisé dans la manière suivante. En section 2, nous décrivons la méthode jointe de tatouage et compression Draco. En section 3, nous présentons des ré-

^{*}Nous remercions le GdR ISIS, CNRS, pour avoir financé cette collaboration.



FIGURE 1 – Vue globale de la phase d'encodage de la méthode jointe de tatouage et compression.

sultats expérimentaux. Enfin, en section 4, nous concluons nos travaux.

2 La Méthode Jointe Proposée

Dans cette section, nous détaillons la méthode jointe de tatouage et compression des objets 3D. La figure 1 présente une vue globale de la phase d'encodage de la méthode proposée. L'étape de tatouage est intégrée dans la phase d'encodage de la géométrie après que les sommets soient quantifiés. Après l'étape de tatouage, l'étape de prédiction des sommets quantifiés permet de préserver les données cachées. En section 2.1, nous décrivons la méthode de compression des objets 3D par Draco. En section 2.2, nous décrivons la phase de tatouage qui est effectuée pendant la phase d'encodage de Draco. En section 2.3, nous détaillons l'étape d'extraction des données qui est effectuée pendant la phase de décodage de Draco.

2.1 Compression des objets 3D par Draco

Comme illustré dans la figure 1, la méthode de compression Draco a deux phases principales d'encodage : l'encodage de la connectivité, basée sur la méthode Edgebreaker [1], et l'encodage de la géométrie. Ceux deux phases sont effectuées séparément. Dans cet article, nous proposons d'intégrer une étape de tatouage dans la phase d'encodage de la géométrie, sans modifier la phase d'encodage de la connectivité.

Dans la phase d'encodage de la géométrie, les coordonnées x, y et z de chaque sommet sont quantifiées selon le paramètre de quantification de Draco $qp \in [0, 30]$. A part pour qp = 0, signifiant qu'il n'y a pas de quantification, chaque coordonnée c, composée d'un point flottant de 32 bits, est transformée en un entier non-signé c' de qp bits. Une étape de prédiction des sommets est alors effectuée sur les coordonnées quantifiées $c' \in [0, 2^{qp}]$ selon le paramètre de compression de Draco $cl \in [0, 10]$. Nous remarquons que la valeur de qp est un compromis entre le taux de compression et la qualité de l'objet 3D reconstruit. Le système d'encodage entropique range Asymmetric Numeral System (rANS) [12] est appliqué après l'encodage de la connectivité et l'encodage de la géométrie, afin de fournir un objet 3D compressé au format Draco.

2.2 Tatouage dans la phase d'encodage

Nous proposons d'intégrer une étape de tatouage dans la phase d'encodage de Draco. Ceci ne modifie pas l'encodage de la connectivité, qui est effectué séparément. Plus précisément, le tatouage est intégré entre l'étape de quantification des sommets et l'étape de prédiction des sommets. Premièrement, comme illustré en figure 1, la longueur du message à insérer est calculée afin de déterminer le taux d'insertion par coordonnée qui est limité par la taille de la coordonnée quantifiée.



FIGURE 2 – *Etape de tatouage pour une coordonnée quantifiée* c'.

La figure 2 présente l'étape de tatouage pour une coordonnée quantifiée c', qui a une taille de qp bits. Chaque c' est tatouée avec un taux d'insertion de α bits par substitution des LSB, selon une clé secrète définissant l'ordre d'insertion :

$$c'_w = \left\lfloor \frac{c'}{2^{\alpha}} \right\rfloor \times 2^{\alpha} + w, \tag{1}$$

où c'_w est la coordonnée tatouée, et w est le message de α bits à insérer dans c'.

Après l'étape de tatouage, les coordonnées quantifiées et marquées subissent une étape de prédiction des sommets. Les erreurs de prédiction sont encodées avec la méthode d'encodage entropique rANS. Nous obtenons alors un objet 3D tatoué et compressé dans le format Draco.

2.3 Phase d'extration et de décodage

La figure 3 présente une vue globale de la phase de décodage de la méthode jointe de tatouage et compression. Il est possible d'extraire le message à deux instants différents, soit après la prédiction et la reconstruction des sommets pendant la phase de décodage de Draco, soit dans le domaine spatial de l'objet 3D reconstruit après le décodage de Draco.



FIGURE 3 – Vue globale de la phase de décodage de la méthode jointe de tatouage et compression.

D'abord, l'objet 3D compressé et marqué est décodé avec le décodeur rANS afin de reconstruire les erreurs de prédiction des sommets. Les sommets tatoués sont alors reconstruits, et le message peut être extrait. Le message west extrait en lisant les α LSB de chaque coordonnée reconstruite, où α est le taux d'insertion :

$$w = c'_w \bmod 2^\alpha,\tag{2}$$

où c'_w est une coordonnée reconstruite et tatouée, de taille de qp bits.

Après l'extraction du message, les sommets sont déquantifiés afin de retrouver des valeurs flottantes et de compléter le décodage de Draco permettant d'obtenir un objet 3D tatoué. A partir du paramètre de quantification qp, le message peut également être extrait de l'objet 3D tatoué.

3 Résultats Expérimentaux

Dans cette section, nous présentons des résultats expérimentaux de notre méthode jointe de tatouage et compression Draco. Dans un premier temps, nous appliquons notre méthode à l'objet 3D *Bunny* de la base de Stanford [13], comme illustré en figure 4. Notons que α est le taux d'insertion en bits par coordonnée quantifiée ($\alpha = 0$ indique qu'il n'y a aucun tatouage).

La figure 4 présente les résultats visuels de la méthode jointe de tatouage et compression proposée appliquée sur *Bunny* pour plusieurs combinaisons de taux d'insertion α et de paramètre de quantification qp. Le taux d'insertion α doit forcément être plus petit que qp, car qp est la taille d'une coordonnée. Quand qp augmente, α peut aussi augmenter, car plus de LSB sont rendus disponibles pour le tatouage. Quand la valeur de α se rapproche de celle de qp, la dégradation visuelle augmente. Nous observons en figure 4 que la dégradation n'est pas visible quand $(qp - \alpha) \ge 7$, ce qui confirme les résultats présentés par [14].

La figure 5(a) présente le RMSE moyen avec l'écart type entre les objets 3D originaux de la base de Stanford [13] et les objets 3D correspondants décodés et tatoués avec la méthode proposée en fonction du taux d'insertion α pour plusieurs valeurs de qp. Nous remarquons que l'écart type est négligeable et donc le RMSE ne varie pas énormément entre les différents objets 3D. Nous pouvons observer que



FIGURE 4 – Résultats visuels de la méthode proposée appliquée à Bunny, pour plusieurs taux d'insertion α (bits par coordonnée quantifiée) et valeurs de paramètre de quantification de Draco qp.

le RMSE ne dépend pas uniquement du paramètre de quantification qp, mais de la relation entre qp et α , *ie*. le nombre de MSB non modifié. En effet, quand $(qp - \alpha) \ge 7$, le RMSE est négligeable car il a toujours un ordre de 10^{-3} , quelque soit la valeur de qp. Ceci confirme les résultats visuels illustrés en figure 4 pour l'objet 3D *Bunny*.

La figure 5(b) présente les taux de compression des objets 3D de la base de Stanford [13] tatoués et compressés avec la méthode proposée en fonction du taux d'insertion α pour plusieurs valeurs de qp. Nous remarquons que $\alpha \in [0, qp]$, où $\alpha = 0$ correspond aux objets 3D compressés sans tatouage. Nous pouvons observer que quand qp augmente, le taux de compression diminue. Ceci est lié à la méthode originale de Draco, illustrée quand $\alpha = 0$. Ce comportement est prédictible, car qp est la taille d'une coordonnée après la quantification. La perte du taux de compression devient également moins significative, donc le changement du taux de compression entre les objets 3D est mineur, particulièrement quand qp augmente.

Comme pour la méthode de compression originale de Draco, un compromis est à trouver entre le taux de compression et la qualité de l'objet 3D reconstruit. La figure 6 présente le taux de compression moyen en fonction du RMSE moyen pour plusieurs valeurs de $qp \in [0, 30]$ pour la base de Stanford [13]. Nous pouvons observer que le changement du paramètre de quantification qp a une grande influence sur le taux de compression et une influence mineure sur le RMSE. Par conséquent, la valeur de qp doit être choisie selon le taux d'insertion souhaité. Par exemple, si le taux d'insertion souhaité est $\alpha = 1$ bit par coordonnée



FIGURE 5 – RMSE moyen et taux de compression obtenu pour la base de Stanford [13] tatouée et compressée avec la méthode proposée en fonction du taux d'insertion α pour plusieurs $qp \in [1, 30]$.

(donc 3 bits par sommet), et l'utilisateur souhaite minimiser la distorsion, alors qp = 15 est recommandé, car le RMSE moyen est 5.22×10^{-5} , pour un taux de compression de 18.93. Si, par exemple, le taux d'insertion souhaité est $\alpha = 3$ bits par coordonnée (donc 9 bits par sommet), un bon compromis entre le taux de compression et la qualité est qp = 11. En effet avec qp = 11, paramètre de défaut de Draco donné par Google, nous avons un taux de compression de 24.38 et un RMSE moyen de 3.47×10^{-3} . En conclusion, pour ces deux exemples (qp = 15, $\alpha = 1$ et qp = 11, $\alpha = 3$), nous observons en figure 4 que ces objets 3D reconstruits ont une haute qualité sans dégradation visuelle.



FIGURE 6 – Taux de compression moyen en fonction du RMSE pour plusieurs qp et α , appliqué à la base de Stanford [13].

4 Conclusion

Dans cet article, nous proposons une méthode jointe de tatouage et compression Draco des objets 3D. Une étape de tatouage est intégrée dans la phase d'encodage de géométrie de Draco. Le message caché peut être extrait soit pendant la phase de décodage de Draco, soit après la reconstruction de l'objet 3D décodé et marqué. Nos résultats expérimentaux montrent un taux d'insertion élevé qui peut être utilisé, par exemple, pour insérer des droits d'auteur. Nous avons proposé une valeur optimale des paramètres dans des scénarios différents. Nous avons également testé notre méthode sur une grande base de données. Dans le futur, nous souhaitons maximiser la qualité de l'objet 3D reconstruit ou augmenter la capacité d'insertion en conservant le taux de compression original de Draco.

Références

- J. Rossignac. 3D compression made simple : Edgebreaker with ZipandWrap on a corner-table. Dans *Proceedings International Conference on Shape Modeling and Applications*, pages 278–283, 2001.
- [2] Google. Draco 3D graphics compression, 2014.
- [3] C. Cao, M. Preda, et T. Zaharia. 3D point cloud compression : A survey. Dans *The 24th International Conference on 3D Web Technology*, pages 1–9, 2019.
- [4] J.-W. Cho, R. Prost, et H.-Y.Jung. An Oblivious Watermarking for 3-D Polygonal Meshes Using Distribution of Vertex Norms. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 55:142 – 155, 02 2007.
- [5] K. Wang, G. Lavoué, F. Denis, A. Baskurt, et X. He. A Benchmark for 3D Mesh Watermarking. Dans 2010 Shape Modeling International Conference, pages 231–235, 2010.
- [6] A. G. Bors et M. Luo. Optimized 3D Watermarking for Minimal Surface Distortion. *IEEE Transactions* on Image Processing, 22(5):1822–1835, 2013.
- [7] Q. Zhang, X. Song, T. Wen, et C. Fu. Reversibility improved data hiding in 3D mesh models using prediction-error expansion and sorting. *Measurement*, 135 :738–746, 2019.
- [8] D. Goudia, M. Chaumont, W. Puech, et N. Said. Tatouage et Compression Conjoint dans JPEG2000 avec un Algorithme de Quantification Codée par Treillis (TCQ). Dans CORESA, 2010.
- [9] E. Abdallah, A. Hamza, et P. Bhattacharya. Watermarking 3D models using spectral mesh compression. *Signal, Image and Video Processing*, 3 :375– 389, 10 2009.
- [10] H. Lee, Ç. Dikici, G. Lavoué, et F. Dupont. Joint reversible watermarking and progressive compression of 3D meshes. *The Visual Computer*, 27 :781–792, 2011.
- [11] B. Jansen van Rensburg, W. Puech, et J.-P. Pedeboy. The First Draco 3D Object Crypto-Compression Scheme. *IEEE Access*, 10:10566–10574, 2022.
- [12] J. Duda, K. Tahboub, N. J. Gadgil, et E. J. Delp. The use of asymmetric numeral systems as an accurate replacement for Huffman coding. Dans *Picture Coding Symposium (PCS)*, pages 65–69, 2015.
- [13] M. Levoy, J. Gerth, B. Curless, et K. Pull. The Stanford 3D scanning repository. URL http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/, 5(10), 2005.
- [14] B. Jansen van Rensburg, W. Puech, et J.-P. Pedeboy. Draco-Based Selective Crypto-Compression Method of 3D objects. Dans *IEEE IPTA 2022*, pages 1–6, 2022.