

Compression de maillages 3D de grande résolution par transformée en ondelettes au « fil de l'eau »

Akram Elkéfi, Sami Abbadi, Marc Antonini, Chokri Ben Amar

Laboratoire I3S, CNRS – UMR 6070, Université de Nice-Sophia Antipolis

Bât. Algorithmes/Euclide B, BP 121, 2000 route des lucioles, 06903 Sophia Antipolis Cedex, France

Tél. : 33(0)4.92.94.27.21 – Fax : 33(0)4.92.94.28.98

{elkefi, abbad, am}@i3s.unice.fr

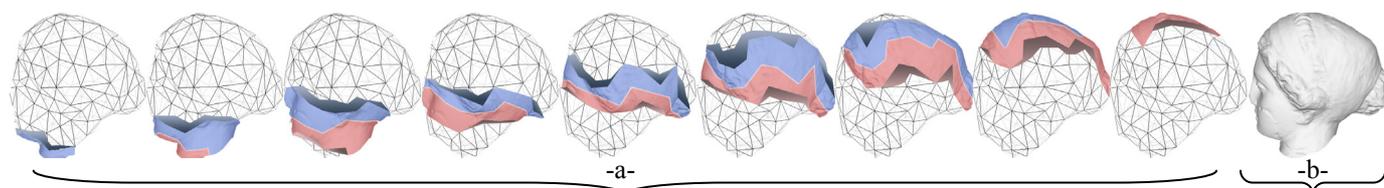


Fig. 1. Visualisation du processus de compression au fil de l'eau d'un maillage 3D multirésolution : (a) L'acquisition spirale envoie un triangle avec son voisinage pour initialiser la transformée puis le codage. Les étapes suivantes correspondent à l'évolution suivant une lecture spirale. (b) Reconstruction avec tous les niveaux de résolution (détails).

Résumé – Dans ce papier, nous nous intéressons à la compression dans le domaine des ondelettes de très grands maillages au fur et à mesure de leur acquisition. Nous proposons une méthode de compression progressive utilisant une transformée en ondelettes au "fil de l'eau" pour les maillages 3D semi-réguliers. Cette méthode consiste à faire le traitement au fur et à mesure de l'acquisition des données tout en réduisant considérablement l'espace mémoire utilisé. Les résultats expérimentaux montrent que la méthode est très efficace en terme de coût calculatoire, espace et accès mémoire. Les rapports débit/distorsion de notre méthode au fil de l'eau sont très proches de ceux de la méthode avec chargement de l'objet en totalité avant traitement, mais présente l'avantage de nécessiter un espace mémoire beaucoup plus réduit.

Abstract – In this paper we introduce a method allowing to perform a Scan-based Wavelet Compression of 3D semi-regular multiresolution meshes. This method consists in processing the data progressively during the acquisition while reducing considerably memory usage. The experiments show that the method is very effective in terms of memory usage and access. Moreover the proposed algorithm allows reducing the complexity of processing from $O(N^2)$ to $O(N)$.

1. Introduction

Les maillages constituent un outil puissant pour modéliser des objets 3D complexes grâce à leur double nature géométrique et combinatoire (les positions des sommets et la connectivité). Bien que de nombreuses alternatives existent pour la modélisation de formes surfaciques, les maillages sont aujourd'hui omniprésents et des efforts considérables sont développés pour le traitement numérique de la géométrie opérant essentiellement sur des maillages triangulaires [7]. Le problème de traitements au « fil de l'eau » se pose alors lorsqu'il s'agit de comprimer de très grands volumes de données avec un minimum de ressources mémoire [2], [5], [8]. En effet, la transformée en ondelettes des maillages 3D multirésolutions nécessite l'acquisition et le chargement complet de l'objet en mémoire avant son traitement. Sachant que les maillages 3D de grande précision ont des tailles énormes dépassant plusieurs millions de points et que les systèmes de traitement ont des capacités mémoire limitées, très vite se pose le problème de traitement lié à ce type de données.

Dans cet article, nous nous intéressons à la compression dans le domaine ondelettes de très grands maillages au fur et

à mesure de leur acquisition. La transformée en ondelettes d'un signal est obtenue par une convolution du signal d'entrée par un ou plusieurs filtres de longueur finie. Le fait que ces filtres aient un support fini permet de calculer les coefficients d'ondelettes à l'aide d'un nombre fini d'échantillons du signal. Les méthodes de calcul de la transformée en ondelettes au « fil de l'eau » utilisent cette propriété pour calculer les coefficients haute et basse fréquences de la transformée avec une quantité de mémoire minimale. Nous proposons en premier lieu ici un algorithme de calcul de la transformée au « fil de l'eau » mise en oeuvre par schéma lifting. Cette méthode consiste à effectuer un traitement local de l'objet en fonction du mode d'acquisition 3D considéré tout en contraignant le coût mémoire à être minimal. La transformée en ondelettes générée est identique à celle que l'on obtiendrait si l'on avait la connaissance de la totalité de l'objet 3D à l'instant t .

Par la suite nous proposons une méthode de compression progressive utilisant la transformée en ondelettes au « fil de l'eau » pour les maillages 3D semi-régulier. Cette méthode consiste à faire le traitement au fur et à mesure de l'acquisition des données tout en réduisant considérablement l'espace mémoire utilisé.

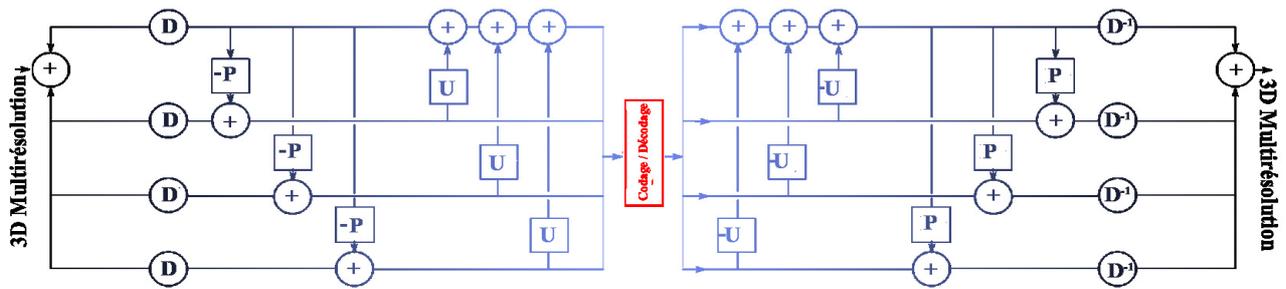


Fig. 3. Schéma Lifting d'analyse et synthèse à quatre canaux correspondant au filtre de Butterfly.

2. Ondelettes sur maillages 3D

L'idée principale de l'analyse multirésolution sur un maillage 3D semi-régulier (cf. figure 2) est la représentation hiérarchique du maillage par une sous-bande basse résolution plus simple et une collection de détails géométriques appelées coefficients d'ondelettes, nécessaires pour retrouver la fonction originale. La transformée en ondelettes réputée pour sa forte décorrélation est plus facile à implémenter en utilisant un schéma Lifting. En effet, le calcul est rapide, efficace et la transformée inverse est directement déduite [3]. Dans le cas du Butterfly, le signal d'entrée est sous-échantillonné et divisé en 4 ensembles disjoints au moyen d'une transformée polyphase. Ces sous-signaux seront prédits puis mis à jour pour la réduction de l'écart entre la fonction originale et ses prédictions. Pour un maillage multirésolution, l'application du schéma lifting est répétée $n-1$ fois successivement sur le signal résultant, n étant le nombre niveau de résolution (cf. figure 3).

La topologie de l'objet étant aléatoire, le filtre doit suivre la forme de l'objet en collant au maillage. L'extraction des points de filtrage est possible grâce à une méthode de parcours du maillage de voisin en voisin. L'étape de calcul du voisinage est très coûteuse en nombre d'opérations. La méthode de calcul classique est de complexité $O(N^2)$. Et vue que les maillages utilisés comptent des millions de triangles cette méthode classique coûtera au moins quatre heures de calcul sur un P4 à 2Ghz. La procédure de recherche de voisinage proposée effectue ce calcul en une seconde maximum, elle est donc 10^4 fois plus rapide que la méthode « classique » (Les détails de la méthode de calcul de voisinage sont donnés dans [9]). Notre approche permet de réduire cette complexité de $O(N^2)$ à $O(N)$. En effet, au lieu de rechercher les voisins dans tout le maillage, nous établissons une procédure de localisation de la plus petite surface les englobant (pour plus de détails voir [4]).

3. Implémentation au « fil de l'eau »

3.1 Acquisition spirale

Pour pouvoir traiter un objet au fur et à mesure de son acquisition, il faut le diviser en zones puis envoyer à chaque instant (ou demande) la zone nécessaire pour la transformée, puis la quantification et le codage. Dans le cas d'images 2D, la décomposition de l'objet est simple, il suffit de diviser l'image en ligne ou en blocs [8]. Pour la vidéo, l'unité est un GOP (Group Of Images) [2]. Dans ces deux cas

la division est plus évidente que pour un objet 3D semi-régulier. L'idée que nous proposons dans le cas de maillages semi-réguliers multiéchelles est de prendre pour unité un triangle de basse fréquence. Pour ce, il faut disposer d'un outil permettant un déplacement orienté sur le maillage irrégulier de sorte que le parcours de l'objet en totalité ne laisse pas de parties non traitées, ce qui est délicat, vu que la topologie de l'objet est très variée.

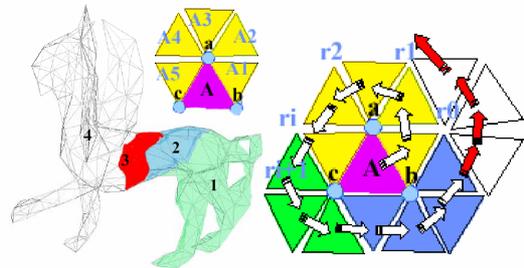


Fig. 4. Méthode du parcours du maillage.

Nous proposons ici d'utiliser un balayage (« scanning ») spiral pour permettre de parcourir l'objet 3D dans sa totalité [8]. Le choix du parcours influe directement sur la taille maximale de la mémoire utilisée. (L'influence de la méthode du parcours du maillage sur la mémoire nécessaire est détaillée dans [9]). Lors de l'application de la compression au fil de l'eau, nous avons constaté que la méthode d'acquisition spirale (figure 4) est la moins coûteuse en mémoire. Elle assure à chaque instant t , la présence de la totalité du voisinage d'un triangle partiellement traité nécessaire pour compléter son traitement et son effacement de la mémoire. L'algorithme spiral suivra le même sens d'acquisition du scanner.

3.2 Principe de la méthode

La méthode proposée se compose de deux parties essentielles : La transformée en ondelettes au fil de l'eau et le codage au fil de l'eau. L'acquisition spirale envoie un lot de triangles de basses fréquences avec tous leurs détails vers la transformée en ondelettes. Cette dernière en traite une partie et laisse le reste en attente d'autres informations nécessaires. La partie traitée est envoyée par la suite à un tampon. Lorsque ce dernier atteint un niveau choisit déterminant la taille maximale de mémoire utilisée, il envoie tous ses triangles vers la quantification et le codage. Les différentes étapes de la méthode proposée sont présentées dans la fig. 5 :

- *Acquisition spirale* : L'entrée étant l'objet 3D, l'acquisition spirale est celle responsable de l'envoi de

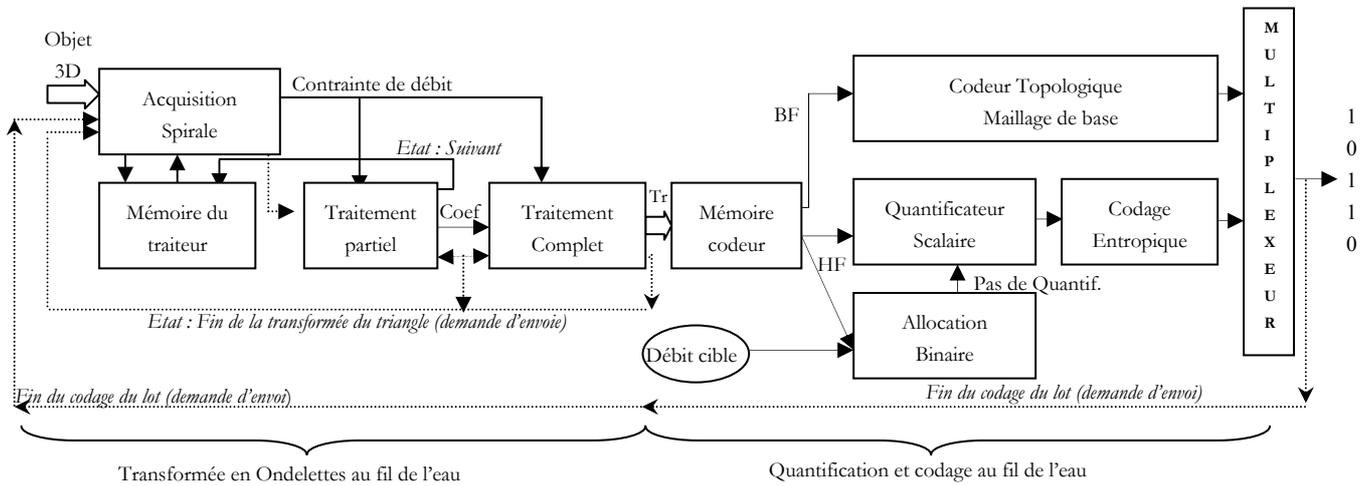


Fig. 5. Schéma de la méthode proposée de compression au fil de l'eau des maillages 3D

triangles aux autres blocs. Le rendement de la méthode est fortement lié à la manière d'acquérir les données.

- *Mémoire du traiteur* : C'est la mémoire réservée par le système d'exploitation pour la transformée.
- *Traitement partiel* : pour pouvoir appliquer la transformée en ondelettes en totalité sur un triangle, il faut connaître tout son voisinage, ce qui n'est pas possible car nous ne disposons pas toujours des données voulues à chaque instant t . Une phase partielle est donc nécessaire pour profiter de la présence de quelques voisins du triangle à traiter et ainsi faire un précalcul. A chaque fois qu'un nouveau triangle se trouve en mémoire, il déclenche la poursuite des traitements partiels dont il fait partie et commence sa transformée partielle. Le traitement partiel d'un triangle de basse fréquence implique le traitement complet de toute sa descendance (tous les niveaux de résolutions) sauf les triangles de bords de ce même triangle (pour plus de détails voir [4]).
- *Traitement total* : Lorsqu'un triangle n'est plus en attente, il est pris en charge par le bloc de traitement complet qui achève sa transformée, envoie ses coefficients puis l'efface de la mémoire. Lorsque toutes les attentes d'un triangle sont présentes en mémoire, l'unité de Traitement complet effectue la transformée en totalité.
- *Allocation binaire* : Il permet de calculer les pas de quantification optimaux qui minimisent l'erreur de reconstruction lors du codage en fonction d'un débit de consigne. Cette étape est répétée à chaque réception d'un nouveau lot de triangles envoyé par la transformée en ondelettes au fil de l'eau.
- *Quantification* : Les données géométriques de chaque lot de triangles sont quantifiées avec les pas calculés lors de l'allocation binaire. Nous avons choisi une quantification scalaire uniforme.
- *Codage entropique* : Un codage entropique des sous-bandes de coefficients quantifiés permet d'obtenir la trame binaire. C'est un codeur arithmétique contextuel par plans de bits qui exploite la corrélation spatiale intra et inter- résolution des coefficients d'ondelettes 3D à l'aide de contextes originaux adaptés à la géométrie

des maillages. L'objet compressé est alors l'ensemble de toutes les trames binaires de tous les lots de triangles.

3.3 ETAT DE LA MEMOIRE

Vu que tout triangle partiellement traité est gardé en mémoire jusqu'à la fin de son traitement, il faut faire en sorte que les triangles attendus soient acquis en priorité pour achever le traitement des attentes et ainsi éviter de gonfler la mémoire. La méthode de lecture spirale proposée assure qu'à chaque acquisition, le traitement d'au moins un triangle est achevé et le triangle correspondant est ainsi libéré de la mémoire. Nous estimons que cette méthode influant directement sur la taille du Buffer, est efficace pour réduire au maximum l'utilisation de la mémoire. En effet, notre méthode assure à chaque tour spiral qu'un certain nombre de triangles soit totalement traités et effacés de la mémoire et que les nouveaux soient partiellement traités, pour une utilisation minimale de la mémoire.

La figure 6 illustre une estimation de la taille de mémoire maximale utilisée dans le cas du fil de l'eau en comparaison avec celle nécessaire si tout l'objet était conservé en mémoire. La figure 4 représente un exemple de l'état de la mémoire au cours d'une étape de la transformée : La partie en noir (4) n'est pas encore scannée, celle en vert (1) est déjà traitée et effacée de la mémoire et celle en bleu (2) est en cours de traitement total et va être effacée avant le tour spiral suivant. La partie en rouge (3) est partiellement traitée, gardée en mémoire, et est nécessaire pour le traitement en cours de la partie en bleu (2). A une étape donnée, seulement la partie partiellement traitée (3) est gardée en mémoire, d'où notre gain en mémoire comparé à la méthode classique qui nécessite la présence de la totalité de l'objet en mémoire avant son traitement.

4. Résultats expérimentaux et conclusion

Dans ce papier nous avons introduit une méthode qui permet d'effectuer une compression par ondelettes « au fil de l'eau » de maillages 3D multirésolutions semi-réguliers. Cette méthode consiste à faire le traitement au fur et à mesure de l'acquisition des données tout en réduisant considérablement l'espace mémoire utilisée.

4.1 Transformée en ondelettes « au fil de l'eau »

Les expériences montrent que la transformée en ondelettes est très efficace en terme de coût et accès mémoire, de l'ordre de 20,25% de la totalité de l'objet et sous une borne maximale de 33,7%. La figure 6 représente une estimation de la taille maximale de la mémoire utilisée dans le cas du fil de l'eau en comparaison avec la méthode où le chargement de tout l'objet avant son traitement est nécessaire. Par exemple, la méthode proposée n'utilise que 17% de l'objet Rabbit pour avoir la même transformée en ondelettes.

4.2 Performance de la compression « au fil de l'eau »

La figure 7 représente une comparaison de la méthode proposée « au fil de l'eau » avec la méthode nécessitant la connaissance de l'objet en totalité. L'objet est découpé en plusieurs lots de triangles et une allocation de débit suivi d'un codage sont appliqués sur chaque lot séparément de sorte que la somme des débits soit égale au débit cible. Les lots choisis ici représentent 50% et 25% de la totalité de l'objet cad 1/2 et 1/4 en nombre de triangles total. Le rapport signal à bruit de l'objet final sera inférieur comparé à la méthode utilisant 100% de l'objet. Ce pendant les résultats expérimentaux montrent que pour notre méthode cette différence est très petite et de l'ordre de 1 dB dans le cas d'une compression à bas débit et presque nulle au delà de 2 bits/vertex. En contrepartie nous utilisons 25% de la taille de l'objet, soit un gain de 4 fois la taille mémoire qui serait nécessaire pour traiter l'objet complet. Les rapports débit/distorsion (PSNR) de notre méthode au fil de l'eau sont très proches de ceux de la méthode avec chargement de l'objet en totalité avant traitement ; la même qualité de compression avec un espace mémoire beaucoup plus réduit (figure 7). De plus la visuelle des objets décompressés demeure inchangée (cf Figure 8)

Références

[1] F.Payan et M. Antonini "Multiresolution 3D mesh Compression.", IEEE ICIP Septembre 2002
 [2] C.Parisot, M. Antonini et M. Barlaud "3D scan based wavelet transform for video coding.", IEEE WMSP 2001
 [3] A.Khodakvosky, P.Schroder et W. Sweldens "Progressive geometry compression", SIGGRAPH 2000
 [4] A.Elkefi, M. Antonini et C. BenAmar "Compression de maillages 3D multirésolution" Rapport Interne I3S numéro ISRN I3S/RR- 2003-30-FR
 [5] M.Isenburg et S.Gumholh "Out-of-core compression for gigantic meshes", SIGGRAPH, Juillet 2003
 [6] H.Hoppe "progressive meshes". In ACM SIGGRAPH 2003
 [7] P.Alliez et C.Gotsman "Recent Advances in Compression of 3D Meshes", CORESA, 2003
 [8] C.Chrysaifis et A.Ortega "Line Based Reduced Memory Wavelet Image Compression", IEEE TIP, mars 2000, pages 378-389
 [9] A. Elkefi, M. Antonini, and C. Ben Amar. "3D scan-based wavelet transform for multiresolution meshes", EUSIPCO 2004, Vienne, Autriche

[10] F. Payan and M. Antonini. Model-based bit allocation for normal mesh compression. In IEEE International Workshop on Multimedia and Signal Processing, Siena, Italie, 29 septembre, 01 octobre 2004.

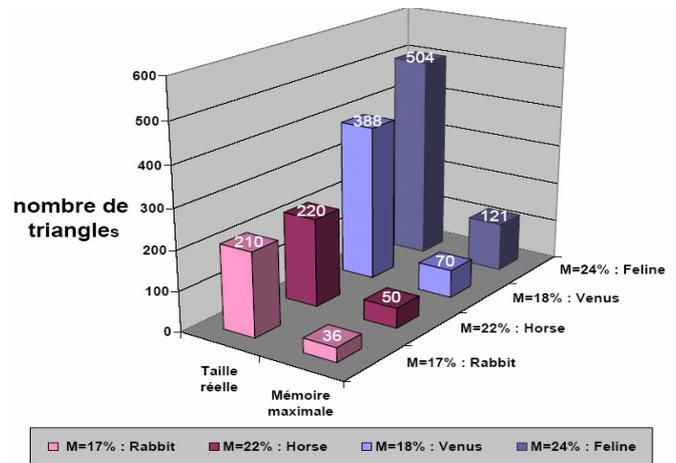


FIG. 6. Estimation de la taille mémoire utilisée dans le cas « fil de l'eau » en comparaison avec celle nécessaire si tout l'objet était conservé en mémoire.

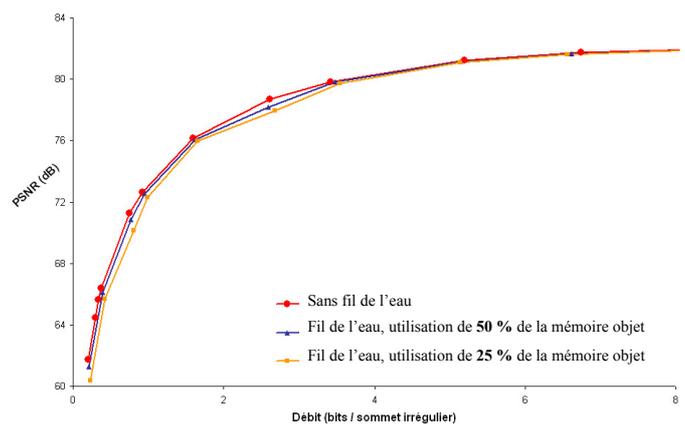


FIG. 7. Courbe PSNR (dB) en fonction du débit bits/vertex pour l'objet Venus. Comparaison de la méthode au « fil de l'eau » avec l'approche « classique » nécessitant la connaissance de l'objet total.

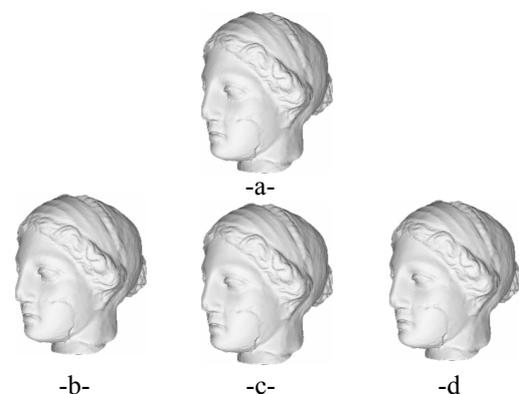


FIG. 8. Comparaison visuelle entre les différentes méthodes.
 a- Objet original.
 b- Compressé à 1 bit/vertex avec 100% de mémoire utilisée.
 c- Compressé à 1 bit/vertex avec 50% de mémoire utilisée.
 d- Compressé à 1 bit/vertex avec 25% de mémoire utilisée