

Projet Jeunes Chercheurs du GdR ISIS - bilan scientifique

Compression et Transmission Adaptatives de Maillages 3D

Céline ROUDET¹, Basile SAUVAGE², Frédéric PAYAN³, Sandrine LANQUETIN¹

¹Laboratoire Le2i - 9, avenue Alain Savary, BP 47870, 21078 Dijon Cedex, France

²Laboratoire LSIIT - boulevard Sébastien Brant, BP 10413, 67412 ILLKIRCH Cedex, France

³Laboratoire I3S - 2000, route des lucioles, BP 121, 06903 Sophia Antipolis, France

Celine.Roudet@u-bourgogne.fr, sauvage@unistra.fr
fpayan@i3s.unice.fr, Sandrine.Lanquetin@u-bourgogne.fr

Abstract – L’objectif de ce projet est de développer des méthodes de compression et de transmission de maillages surfaciques, grâce à l’analyse multirésolution (utilisant des bases d’ondelettes). Plus précisément, nous envisageons de développer une méthode de compression adaptative par régions d’intérêt, obtenues par segmentation. Ce découpage nous permettra d’adapter l’analyse multirésolution et la quantification de la géométrie de chaque région, en fonction des caractéristiques spatio-fréquentielles de ses sommets.

1 Sujet du projet

Grâce aux avancées des techniques d’infographie, de numérisation et de vision 3D, la représentation tridimensionnelle de données géométriques est aujourd’hui utilisée dans de nombreux domaines : CAO, loisirs numériques, réalité augmentée, médecine, simulations numériques, etc. Dans ce contexte, les maillages surfaciques triangulaires constituent l’un des modèles mathématiques les plus utilisés. Compte tenu des attentes toujours croissantes de réalisme imposées par les applications manipulant ces maillages, il est indispensable de disposer de techniques efficaces pour stocker, échanger et même visualiser ces objets.

L’obtention d’une représentation la plus compacte possible n’est pourtant pas le seul objectif visé. En effet, un des enjeux actuels est de proposer une adaptation du transfert de ces données aux ressources à disposition (type de réseau et nature des terminaux utilisés pour la visualisation), mais aussi aux diverses demandes de l’utilisateur. Pour cela, des techniques basées sur l’analyse multirésolution (AMR) sont généralement considérées, car la structure multi-échelle produite permet de développer des approches "progressives" (scalabilité des données).

Il n’est donc pas étonnant qu’à l’heure actuelle, les techniques de compression de maillages statiques les plus performantes soient elles aussi basées sur l’AMR [13, 20]. Cependant, ces techniques considèrent généralement une projection globale des maillages dans l’espace transformé, sans chercher à adapter la décomposition en ondelettes et la quantification des coefficients à la courbure, la rugosité ou la direction des textures caractérisant la surface des objets 3D naturels. Ces travaux reposent la plupart du temps sur des modèles d’aspect

globalement lisse, ce qui occulte une partie des objets naturels que l’on peut rencontrer.

L’objectif de nos travaux est de développer des outils adaptatifs et génériques d’AMR, pour la compression et la transmission de maillages surfaciques triangulaires semi-réguliers (SR). Étant donné en entrée un maillage SR, notre objectif est de l’analyser sous forme multirésolution (par l’approche "lifting scheme"), en adaptant les traitements aux caractéristiques spatio-fréquentielles des maillages considérés. Pour cela, les parties non lisses sont préalablement isolées des parties lisses et regroupées en régions connexes, grâce à un critère d’homogénéité basé sur le calcul de l’amplitude des coefficients d’ondelettes (information à coder représentant les hautes fréquences (HF) présentes à chaque niveau de résolution). Notre but est d’associer à ce critère d’autres mesures reflétant la rugosité ou la saillance sur un maillage surfacique, pour permettre de mieux séparer les régions non lisses.

L’originalité de ce projet vient du fait qu’à l’heure actuelle, il n’existe à notre connaissance aucune technique d’AMR adaptée aux spécificités surfaciques des maillages d’objets naturels ou de scènes 3D, se rapprochant du concept d’ondelettes directionnelles très exploité en 2D.

Ce projet s’articule principalement autour de 3 axes :

- Le premier axe ("Segmentation") consiste à déterminer les critères les plus pertinents à prendre en compte durant l’étape de segmentation, de manière à capter les spécificités surfaciques des maillages sous forme de régions connexes.
- Le deuxième axe ("Analyse Multirésolution") s’intéresse

à l'étude et éventuellement au développement des schémas multirésolutions les mieux adaptés aux aspects détectés dans les différentes régions, et ce dans une optique de compression.

- Le troisième et dernier axe ("Compression") consiste à finaliser une méthode de compression basée sur la segmentation et l'AMR développées dans les axes précédents. L'objectif de cette méthode est bien entendu de proposer la meilleure qualité possible selon les besoins de l'utilisateur.

2 Verrous du projet

2.1 Etude de la décroissance des coefficients d'ondelettes

L'objectif de l'axe 1 est de construire une segmentation en régions les plus homogènes possibles pour être ensuite codées séparément. Nous voulons que les sommets d'une même région aient des caractéristiques fréquentielles similaires. Par conséquent, il nous semble pertinent de nous intéresser à la dynamique des coefficients d'ondelettes en un lieu donné, *i.e.* la vitesse de décroissance des amplitudes des coefficients (des basses vers les hautes fréquences). Pour cela, nous nous sommes inspirés des travaux sur la détection de bords dans les images [3] : la vitesse de décroissance dans l'espace des fréquences mesure la régularité en un point donné.

Nous ne cherchons pas ici à détecter des "sharp features" (analogue aux bords dans une image), ni même vraiment des parties rugueuses (concept défini plus en détail dans la partie suivante). Par conséquent, l'un des principaux verrous de ce projet est de savoir comment associer cette dynamique à notre critère de segmentation actuel basé sur l'amplitude des coefficients d'ondelettes (information à coder). Pour cela, il sera utile d'étudier dans un premier temps si cette dynamique est suffisamment homogène pour en tirer un critère de segmentation.

2.2 Développement d'une méthode générale de compression adaptative

L'objectif principal de nos travaux est de développer des outils adaptatifs et génériques d'analyse multirésolution, pour la compression et la transmission d'objets naturels. Ainsi l'un des verrous de ce projet repose sur la mise en place d'une méthode générale à partir de nos observations et de la compréhension des propriétés de décroissance que nous venons de décrire.

Concernant la comparaison des résultats issus de notre étude, en termes de distorsion géométrique, nous avons déjà remarqué que les métriques basées Hausdorff [1] (considérées par la majorité des travaux jusqu'à présent) ne sont pas bien adaptées pour refléter certains aspects perçus par le système visuel humain, telle que la rugosité. Il y a quelques années, des métriques d'évaluation de la qualité de reconstruction ont

été proposées pour ne pas tenir compte uniquement de la déformation géométrique, mais aussi de l'aspect lisse de la surface [12], ou encore de la variation locale des courbures [16]. L'inconvénient de ces méthodes est de ne pouvoir comparer que des maillages de même connectivité, ce qui exclut toute possibilité de les utiliser dans notre contexte.

Récemment, un nouveau critère d'évaluation subjective a été proposé par Lavoué [15], permettant de comparer deux maillages de connectivité ou de densité d'échantillonnage arbitraires. En comparaison des métriques de l'état de l'art, le critère proposé s'avère d'avantage corrélé avec les dernières expérimentations subjectives réalisées sur trois bases de données différentes. Ce critère pourrait donc être pertinent pour l'évaluation subjective de la distorsion provoquée par la compression progressive de maillages surfaciques triangulaires SR (considérés dans notre étude).

3 Originalité et apport des travaux

Durant ce projet, nous avons abordé les trois axes de recherche définis précédemment. Nous détaillons dans cette partie les principales avancées au niveau de chacun des axes.

Dans le cadre de ce projet, nous considérons les maillages SR, puisqu'ils possèdent une structure particulièrement adaptée à l'AMR. Afin de mener à bien notre projet, il nous a fallu disposer rapidement d'une base de données contenant des maillages qui présentent divers degrés de rugosité ou de texturation et non plus seulement des zones lisses séparées par des arêtes vives. Pour cela, nous avons profité des compétences d'Aymen Kammoun, doctorant sous la direction de F. Payan, et notamment de l'algorithme de remaillage SR qu'ils ont développé durant sa thèse [10], pour remailler plusieurs objets sur lesquels nous pouvons maintenant travailler. De plus, nous envisageons de compléter ce corpus expérimental en y ajoutant des maillages créés synthétiquement par IFS (Iterated Function System), du fait qu'il est possible d'en contrôler la régularité et/ou la rugosité. Cela nous permettrait ainsi d'analyser et d'étudier la décroissance des coefficients d'ondelettes sur des surfaces ayant différents degrés de rugosité (connus à l'avance).

3.1 Notion de rugosité sur un maillage surfacique

Dans le but de compléter la méthode de segmentation considérée (basée sur l'AMR et développée par C. Roudet durant sa thèse [23]), nous avons cherché à préciser la notion de rugosité sur un maillage surfacique.

Ainsi nous nous sommes intéressés à plusieurs travaux récents définissant la rugosité [17] et la saillance [18], qui à première vue sont des notions voisines, dont les méthodes de calcul se ressemblent.

Nous pouvons caractériser localement les surfaces en trois types :

1. Les parties *lisses*. Elles sont caractérisées par l'absence

de hautes fréquences (HF).

2. Les *sharp features*. Elles sont caractérisées par des pics HF, isolés et de grande amplitude. Nous conjecturons que ces HF sont présentes à *tous* les niveaux.
3. Les parties *rugueuses*. Elles sont caractérisées par des HF réparties sur de larges zones (amplitudes similaires). Cette notion est proche d'un bruit, ou d'une texture. Nous conjecturons que ces HF sont présentes à *certain*s niveaux (traduisant un comportement Passe-Bande).

Avec cette classification, nous pouvons différencier la saillance (qui cherche à détecter les *sharp features*) de la rugosité. Pour différencier la rugosité et le bruit, il faut définir une fréquence de coupure (bruit au delà, rugosité en deçà). Des tests de ces mesures sur plusieurs maillages caractéristiques (contenus dans notre corpus expérimental) sont en cours et seront complétés par une étude d'autres mesures de "rugosité locale" [4, 22]. Pour cela, nous nous basons sur des comparaisons visuelle et statistique des cartes de rugosité, pour notamment mesurer quantitativement le degré de corrélation linéaire entre elles. L'intérêt étant d'identifier plusieurs critères pertinents pour la segmentation (à différents niveaux d'échelle), de manière à compresser/coder différemment les caractéristiques surfaciques correspondantes.

Le premier avantage de notre approche est d'utiliser uniquement des informations déjà calculées (les coefficients d'ondelettes) : cela permet de réduire les temps de calculs de manière importante. Quoique de complexité asymptotique linéaire par rapport au nombre de sommets, les calculs de rugosité sont en pratique relativement longs, principalement à cause de la taille des voisinages utilisés dans les phases de lissage ou de moyennage. Le second avantage est la cohérence : ce sont les mêmes informations qui sont utilisées pour la segmentation puis pour l'analyse/compression.

3.2 Amélioration de la méthode de segmentation considérée grâce à l'étude de la décroissance des coefficients

L'objectif de l'axe 1 est de proposer une amélioration de l'algorithme de segmentation développée par C. Roudet durant sa thèse [23], de façon à mieux discriminer les différents degrés de rugosité ou de saillance, puisque l'approche actuelle a tendance à mettre en évidence en premier lieu les *sharp features* puis seulement certains aspects rugueux.

Pour cela, nous nous sommes intéressés à la définition d'une structure hiérarchique (de type quadtree) sur l'ensemble des niveaux de résolution, afin d'évaluer la vitesse de décroissance des coefficients d'ondelettes (des basses vers les hautes fréquences) dans un voisinage local. Etant donnée cette structure, une étude de la régularité de cette décroissance ou des caractéristiques statistiques des coefficients (moyenne, variance, écart-type, etc) devrait permettre de mieux discriminer le type

de surface non lisse analysé et ainsi d'améliorer la segmentation. Cette piste est inspirée de travaux portant sur la détection de contours ou de structures remarquables dans les images [19, 3, 5], que nous aimerions mieux étudier afin d'en proposer une adaptation pour les maillages surfaciques.

4 Résultats obtenus

Nous détaillons dans cette partie les contributions apportées jusqu'à présent, qui concernent principalement les axes 2 et 3.

4.1 Etat de l'art sur le remaillage SR

De nombreuses méthodes de remaillage SR ont vu le jour depuis plus d'une décennie maintenant [7, 8, 10]. Ces méthodes permettent d'obtenir des maillages SR (à partir de maillages irréguliers). Puisqu'une partie de notre travail allait se focaliser sur l'analyse spatio-fréquentielle de ces maillages, dont les caractéristiques peuvent dépendre de la méthode utilisée pour les créer, il nous a semblé intéressant de commencer notre projet par un état de l'art sur le remaillage SR.

Publications relatives une communication orale aux journées AFIG'10 [26], et un article dans la revue nationale REFIG [27] (2011). Nous envisageons de soumettre une extension internationale de cet article dès le début de l'année 2012. La rédaction a déjà débuté.

4.2 Etude du comportement de l'AMR adaptative en frontière de régions

Avant de chercher à optimiser l'analyse en ondelettes à chaque type de spécificité surfacique, nous avons dans un premier temps analysé le comportement des ondelettes obtenues à partir du schéma interpolant de Butterfly, dans un contexte de décodage indépendant de chacune des régions. Le schéma Butterfly est l'un des plus utilisés pour l'AMR de maillages triangulaires, car il génère sur les triangulations régulières des surfaces limites C^1 et c'est le schéma interpolant ayant le masque de plus petit support. L'une des applications typiques du décodage indépendant de régions est la reconstruction qualifiée de "view-dependent", c'est-à-dire, adaptée au point de vue de l'utilisateur. F. Payan a d'ailleurs proposé en 2009 [21] un algorithme d'optimisation de l'allocation binaire dans des régions construites par rapport au point de vue de l'utilisateur. On cherche alors à allouer un maximum de bits dans les parties "visibles", de sorte que pour un débit donné, la qualité visuelle de la scène 3D soit améliorée.

Dans ce cadre, le *framework* de traitements adaptatifs mis en place par C. Roudet durant sa thèse a été couplé à l'implémentation logicielle de l'allocation binaire de F. Payan. Nous avons ainsi pu étudier l'influence qu'engendre la reconstruction grossière des parties non visibles sur les parties "visibles"

voisines, lorsque le schéma de prédiction utilisé est appliqué "à cheval" sur les frontières de régions. Pour éviter la propagation de la reconstruction grossière dans les parties "visibles", nous avons envisagé un nouveau principe d'application du schéma classique, où des sommets "fantômes" sont alors créés à partir de la géométrie proche de la frontière. Le schéma proposé a permis d'obtenir une meilleure qualité de reconstruction des parties "visibles" comparé à une approche plus simple qui consiste à considérer les frontières de régions comme étant des bords de maillage.

Publications relatives un article à la conférence internationale SITIS'10 [24], et une soumission à une "special issue" dans le journal JMPT (International Journal of Multimedia Processing and Technologies) [25].

4.3 Optimisation des schémas d'analyse en fonction du niveau de résolution et de la rugosité

L'idée de cette optimisation provient d'une étude statistique des coefficients d'ondelettes en fonction de leur niveau de résolution et de la variation géométrique locale des surfaces. Nous avons observé que le schéma interpolant de Butterfly, qui est le principal opérateur de prédiction des schémas lifting pour maillages SR, n'est pas forcément adapté à tous les maillages ni à toutes les résolutions.

Nous avons donc développé dans un premier temps une méthode qui modifie les paramètres classiques des étapes de prédiction et de mise à jour du schéma de Butterfly lifté (à chaque niveau de résolution, et séparément pour les composantes tangentielles et normales des coefficients) [9]. Les paramètres sont modifiés de telle sorte que la compression qui suit l'analyse produit globalement de meilleurs résultats en termes de taux de compression. Pour cela, nous avons choisi de minimiser la norme L_1 des différentes sous-bandes de coefficients d'ondelettes, car il a été prouvé dans de précédents travaux que cela permet de maximiser la parcimonie des données [6] et, *in fine*, d'améliorer leur codage. Nos résultats expérimentaux ont confirmé cette amélioration pour deux codeurs de l'état de l'art : PGC [14] et EDQ [20].

Dans un second temps, nous avons développé une approche similaire pour le schéma de Loop lifté proposé par Bertram dans [2]. Cette fois encore les résultats expérimentaux ont montré que l'approche proposée améliore les taux de compression pour deux codeurs de l'état de l'art.

Nous avons de plus constaté que notre approche avait tendance à i) réduire les artefacts visuels qui peuvent apparaître sur les arêtes saillantes lorsque l'on utilise un codeur exploitant le schéma de Butterfly lifté lors de l'analyse ; ii) améliorer l'aspect visuel des maillages de résolutions inférieures obtenus avec le schéma lifting basé Loop.

Publications relatives un article lors de la conférence internationale ICIP 2011 [9], un article pour le Congrès francophone

ORASIS'11 [11], et un article soumis à la revue internationale *Computer and Graphics*, édition Elsevier, en cours de révision.

5 Conclusion et perspectives

A travers ce projet, nous avons mis en lumière le fait que la notion de rugosité ou de texturation sur un maillage surfacique est encore mal définie, même si quelques travaux ont tenté de différencier rugosité et saillance [17, 18] (les parties saillantes correspondant aux fortes courbures, aux arêtes vives, aux coins, etc). Une recherche plus poussée est ainsi nécessaire pour recenser d'autres études réalisées afin de caractériser ou discriminer les différents types de surfaces non lisses existantes.

Dans un second temps, et pour poursuivre notre étude de la décomposition en ondelettes de maillages non lisses (pour en caractériser les différentes zones), nous nous sommes intéressés à l'évaluation de la régularité des détails obtenus dans un voisinage local, à travers les niveaux de résolution. Nous avons ainsi défini une structure hiérarchique afin d'analyser et d'étudier les propriétés de décroissance des coefficients d'ondelettes sur les différents objets de notre corpus expérimental, à la lueur de ce qui est fait en image [19, 3, 5] et que nous aimerions adapter aux maillages surfaciques.

References

- [1] N. Aspert, D. Santa-Cruz, and T. Ebrahimi. Mesh: Measuring errors between surfaces using the hausdorff distance. In *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2002.
- [2] M. Bertram. Biorthogonal loop-subdivision wavelets. *Computing*, 72(1-2):29 – 39, 2004.
- [3] Olivier Le Cadet. *Méthodes d'ondelettes pour la segmentation d'images. Applications à l'imagerie médicale et au tatouage d'images*. Thèse de doctorat, INP-Grenoble, septembre 2004.
- [4] M. Corsini, E. Drelie Gelasca, T. Ebrahimi, and M. Barni. Watermarked 3D Mesh Quality Assessment. *IEEE Transactions on Multimedia*, 9(2):247–256, 2007.
- [5] C. Damerval. *Ondelettes pour la détection de caractéristiques en traitement d'images - Applications à la détection de régions d'intérêt*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier (Grenoble I), 2008.
- [6] D. Donoho and Y. Tsaig. Fast solution of l_1 -norm minimization problems when the solution may be sparse. *IEEE Transactions on Information Theory*, 54(11):4789–4812, 2008.
- [7] I. Guskov. Manifold-based approach to semi-regular remeshing. *Graph. Models*, 69(1), 2007.
- [8] I. Guskov, K. Vidimce, W. Sweldens, and P. Schröder. Normal meshes. In *SIGGRAPH'00*, 2000.
- [9] A. Kammoun, F. Payan, and M. Antonini. Optimized butterfly-based lifting scheme for semi-regular meshes. In *Proceedings of IEEE International Conference in Image Processing (ICIP)*.
- [10] A. Kammoun, F. Payan, and M. Antonini. Adaptive semi-regular remeshing: A voronoi-based approach. In *Proceedings*

of IEEE international workshop on MultiMedia Signal Processing, septembre 2010.

- [11] A. Kammoun, F. Payan, and M. Antonini. Optimisation du schéma lifting basé butterfly pour les maillages semi-réguliers. In *Congrès ORASIS (Congrès des jeunes chercheurs en vision par ordinateur)*, juillet 2011.
- [12] Z. Karni and C. Gotsman. Spectral compression of mesh geometry. In *SIGGRAPH'00*, pages 279–286, 2000.
- [13] A. Khodakovsky and I. Guskov. Normal mesh compression. *Geometric Modeling for Scientific Visualization*, Springer-Verlag, 2002.
- [14] A. Khodakovsky, P. Schröder, and W. Sweldens. Progressive geometry compression. In *SIGGRAPH'00*, pages 271–278, 2000.
- [15] G. Lavoué. A multiscale metric for 3d mesh visual quality assessment. *Comput. Graph. Forum*, 30(5):1427–1437, 2011.
- [16] G. Lavoué, E. Drelie Gelasca, F. Dupont, A. Baskurt, and T. Ebrahimi. Perceptually driven 3d distance metrics with application to watermarking. In *SPIE Applications of Digital Image Processing*, 2006.
- [17] G. Lavoué. A local roughness measure for 3d meshes and its application to visual masking. *ACM Transactions on Applied Perception*, 5(4):Article 21, 2009.
- [18] C. H. Lee, A. V., and D. W. Jacobs. Mesh saliency. *SIGGRAPH'05*, pages 659–666, 2005.
- [19] Jian Lu. *Signal Recovery and Noise Reduction with Wavelets*. Thèse de doctorat, Thayer School of Engineering - Dartmouth College Hanover, New Hampshire, 1993.
- [20] F. Payan and M. Antonini. An efficient bit allocation for compressing normal meshes with an error-driven quantization. *Elsevier Computer Aided Geometric Design, Special Issue on Geometric Mesh Processing*, 2005.
- [21] F. Payan, M. Antonini, and F. Mériaux. View-dependent geometry coding of 3D scenes. In *ICIP: International Conference on Image Processing*, pages 729–732, 2009.
- [22] J. Peters and X. Wu. The distance of a subdivision surface to its control. *Journal of Approximation Theory*, 161:491–507, 2009.
- [23] C. Roudet. *Compression adaptative de surfaces par ondelettes géométriques*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1, France, novembre 2008.
- [24] C. Roudet. A region-based progressive coding of semi-regular 3-d meshes for view-dependent transmission. In *International Conference on Signal-Image Technology and Internet-based Systems (SITIS)*, 2010.
- [25] C. Roudet. A study on patch-based progressive coding schemes of semi-regular 3d meshes for local wavelet compression and view-dependent transmission. *Journal of Multimedia Processing and Technologies*, 1(4):278–297, décembre 2010.
- [26] C. Roudet and F. Payan. Remaillage semi-régulier pour les maillages surfaciques triangulaires : un état de l’art. In *Journées AFIG*, 2010.
- [27] C. Roudet and F. Payan. Remaillage semi-régulier pour les maillages surfaciques triangulaires : un état de l’art. *Revue Électronique Francophone d’Informatique Graphique*, 5(1):27–40, 2011.