

Vers l'évaluation objective de la qualité perceptuelle de maillages 3D animés

Fakhri Torkhani, Kai Wang et Jean-Marc Chassery

GIPSA-Lab, UMR 5216 CNRS, Université de Grenoble, F-38402 Grenoble Cedex, France.
prenom.nom@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

Résumé

Cet article présente une étude pour l'évaluation des performances des métriques objectives de qualité perceptuelle des animations de maillages 3D. Une base de données qui englobe 10 maillages de référence et 276 modèles dégradés a été développée. Plusieurs types de distorsions ont été simulées : bruits aléatoires, compression, simulation de pertes sur réseaux, etc. Des tests psychométriques ont été menés dans le but de fournir des mesures subjectives de la qualité de ces maillages animés qu'ils soient ou non dégradés par les distorsions précitées. Sur la base des résultats des mesures de qualité subjective, on a comparé les différentes métriques géométriques et perceptuelles existantes. Il en a résulté que les métriques perceptuelles offrent de meilleures performances que les métriques géométriques. On a constaté que la plupart des métriques existantes ont été développées pour les maillages statiques et ne permettent pas d'évaluer des distorsions temporelles.

Abstract

In this paper, we present the results of a comparative study conducted to benchmark the performances of objective perceptual quality metrics for 3D dynamic meshes. A subjectively-rated database of 10 reference meshes and 276 distorted models was constructed. The proposed database incorporates various distortions including random noise addition, compression, lossy network transmission errors, etc. Subjective experiments were conducted to derive the "ground-truth" measure of perceptual quality. A comparative study was then carried out to evaluate the performances of existing objective metrics. Even though primary results show that perceptual metrics outperform simple geometric metrics, there is still no efficient objective metric capable of predicting the perceptual quality of 3D dynamic meshes impaired by temporal distortions.

Mots-clés : Maillages 3D, animations, perception visuelle, qualité subjective, métrique objective.

1. Introduction

Un maillage 3D triangulaire est fréquemment soumis aux différents types de traitements (compression pour réduire sa taille, tatouage pour la sécurité, transmission sur réseaux, etc.). Ces opérations introduisent souvent des déformations sur les surfaces maillées. La prédiction de la qualité perceptuelle des maillages 3D est cruciale pour guider et comparer ces algorithmes de traitement de maillages 3D et pour mesurer l'impact visuel des dégradations telles qu'elles seront perçues par l'utilisateur.

Récemment, quelques bases de données ont été développées dans le but de fournir des mesures subjectives de la qualité de maillages statiques. Parmi ces bases de données, on

cite la base de données *LIRIS/EPFL General-Purpose Database* [LDD*06] et *LIRIS Masking Database* [Lav09]. La première base de données fournit des mesures subjectives pour 84 maillages statiques dégradés par des bruits additifs aléatoires et des déformations de lissage. Le deuxième corpus fournit 24 maillages statiques dégradés dans le but d'étudier l'effet de masquage spatial sur la perception humaine. D'autres bases de données ont été dédiées à des dégradations spécifiques (base de données de simplification dans [SSF09] et corpus de compression dans [VR12]). Ces bases de données de maillages statiques ont permis le développement de plusieurs métriques perceptuelles qui offrent des mesures objectives en corrélations avec les scores subjectifs [CLL*13].

A notre connaissance, la première base de données dédiée aux maillages dynamiques est celle développée par Váša et

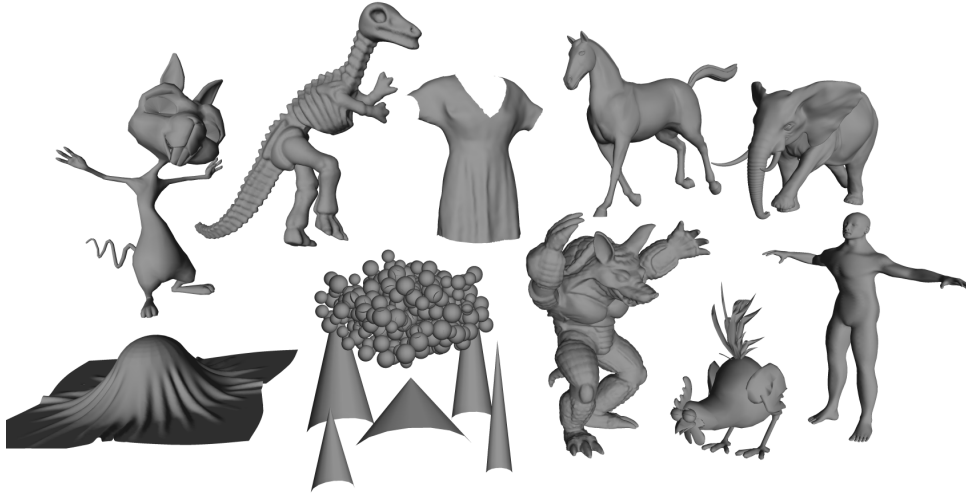


Figure 1: Les 10 maillages dynamiques de référence inclus dans le corpus dédié à l'analyse de qualité subjective.

Skala et présentée dans [VS11]. Ce corpus inclut des bruits aléatoires et des dégradations de compression appliquées sur 4 maillages de référence pour dériver 36 maillages dégradés. Dans la même étude [VS11], les auteurs introduisent une nouvelle métrique de qualité perceptuelle pour les maillages dynamiques.

La première section de ce papier décrit une nouvelle base de données subjective construite pour l'analyse de la qualité perceptuelle de maillages dynamiques. Un ensemble de 276 modèles dégradés est dérivé de 10 maillages de référence. Le nouveau corpus couvre plusieurs types de dégradations : des bruits aléatoires, des déformations dues à la compression, des erreurs de la transmission sur réseaux avec perte et des bruits dédiés à la simulation de l'effet de masquage spatial et temporel[†]. Dans la deuxième section de ce papier, on présente une étude comparative des métriques objectives récentes pour l'évaluation de la qualité perceptuelle des maillages statiques et dynamiques. Dans la dernière section, nous concluons et faisons état des perspectives de notre travail.

2. Base de données de qualité subjective des maillages 3D animés

Afin de couvrir un large spectre d'applications, les 10 maillages de référence ont été sélectionnés pour avoir des propriétés spatiales (rugosité de la surface) et temporelles (nature de mouvement) variées. Une capture qui présente un maillage de chaque séquence de référence est présentée dans la figure 1. La base de données développée vise aussi à couvrir un large spectre des distorsions possibles. Un ensemble

[†]. Le masquage (spatial ou temporel) est l'effet de réduction de la visibilité d'une composante visuelle par la présence d'une autre composante.

de 276 maillages déformés est construit à partir des différentes dégradations :

- **Bruits uniforme et Gaussien** : Un bruit aléatoire de distribution uniforme ou Gaussienne est appliqué sur chaque sommet de chaque maillage de la séquence.
- **Distorsions de simulation de l'effet de masquage** : Afin d'étudier l'effet de masquage spatial et temporel sur l'évaluation de la qualité des maillages, on a introduit des distorsions de bruit uniforme avec pondération, où le poids est proportionnel ou inversement proportionnel à (1)- une mesure de rugosité de la surface locale et (2)- une mesure de la vitesse de déplacement de chaque sommet. Deux variantes de chaque distorsion ont été introduites : (a)- sur chaque sommet, le même bruit est appliqué sur tous les maillages de la séquence (*SM1* et *TM1* pour respectivement le bruit de simulation de masquage spatial et temporel) ; (b)- pour chaque maillage de la séquence, le même bruit est appliqué sur tous les sommets (*SM2* et *TM2* pour respectivement le bruit de simulation de masquage spatial et temporel).
- **Compression** : Dans notre corpus, on a utilisé deux compresseurs avec perte de maillages 3D animés. Le premier compresseur *FAMC* [MZP08] est retenu par la norme MPEG-4. On a inclus dans le corpus des maillages générés par deux variantes du compresseur *FAMC* qui utilisent respectivement *Discrete Cosine Transform (DCT)* et *Lifting bi-orthogonal wavelet transform (Lifting)*. Le deuxième compresseur est *CODDYAC* [VS07], un schéma de compression qui exploite la cohérence des positions de sommets dans le temps pour effectuer la compression. Pour simuler les distorsions dues à la compression, on a varié les paramètres de chaque compresseur.
- **Erreurs de transmission sur réseaux avec perte** : L'objectif est de simuler les dégradations dues à une

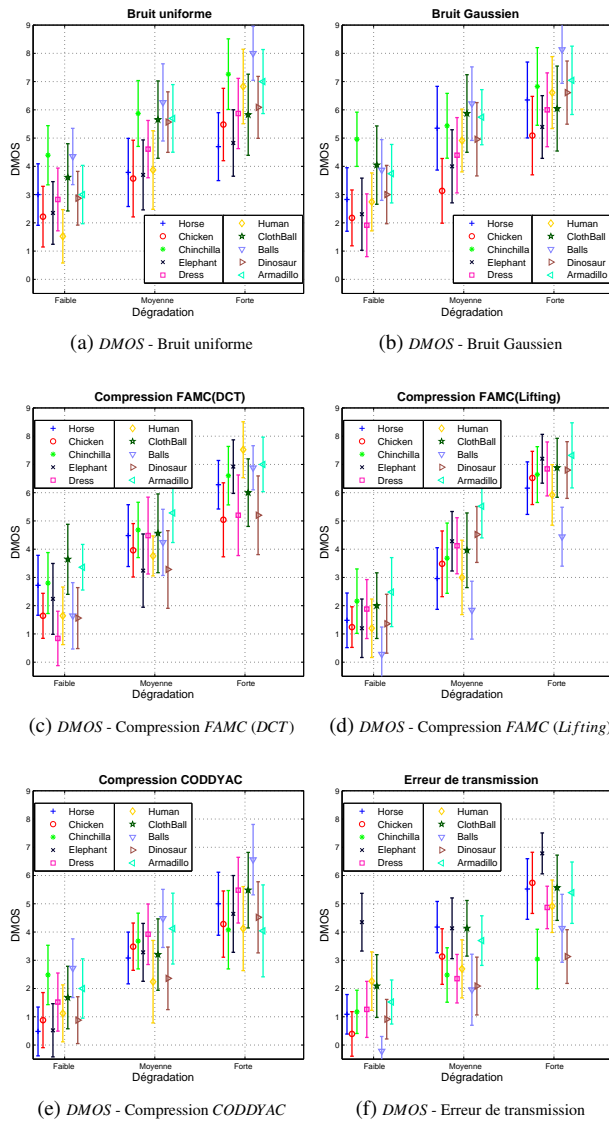


Figure 2: Les valeurs de *DMOS* et les intervalles de confiance (à 95% de certitude) respectifs pour les séquences dégradées du corpus. Les résultats sont regroupés par type et intensité de dégradation.

transmission sur un réseau avec perte. Pour cela, on a codé tout d'abord les maillages avec une très haute qualité (via le codeur *FAMC*). Ensuite, conformément à la méthode introduite par De Simone *et al.* [DTN*10], on a simulé la transmission des maillages codés sur un réseau avec taux de pertes qui varient entre 1.5% et 20%.

Pour chaque type de dégradation, trois niveaux d'intensités ont été fixés pour couvrir la plage de bonne, moyenne et mauvaise qualité. Les intensités ont été pré-sélectionnées avec des observateurs 'naïfs' via des expériences préalables.

On note que les dégradations de simulation de masquage spatial et temporel ne sont appliqués qu'aux maillages riches en information spatiale et temporelle. La méthode expérimentale déployée pour dériver les mesures de 'vérité-terrain' sur la qualité est conforme à la méthode 'Single Stimulus' décrite dans les recommandations ITU [Int12] [Int08]. Dans ce cadre, un seul maillage est présenté à l'observateur pour l'examiner. L'observateur a la possibilité d'interagir avec le maillage par zoom, rotation et translation. Chaque maillage dynamique a été évalué par 25 observateurs. Les maillages de référence ont été inclus dans le corpus et présentés aux observateurs sans aucune indication spécifique.

Après le traitement des résultats de chaque observateur et élimination des données aberrantes selon l'algorithme décrit dans [Int12], une mesure de qualité subjective moyenne est dérivée pour chaque maillage dynamique inclus dans le corpus. On note que la mesure de qualité moyenne notée *DMOS* (Differential Mean Opinion Score) est calculée comme la moyenne de la différence entre le score attribué à la séquence originale par un observateur et celui attribué à chaque dégradation de cette séquence par le même observateur. La figure 2 présente les valeurs de *DMOS* avec les intervalles de confiance à 95% de certitude. Généralement, on a obtenu pour chaque type de dégradation trois groupes de *DMOS* qui correspondent bien aux trois niveaux d'intensité de dégradation. Cependant, il existe quelques exceptions, par exemple pour le modèle *Armadillo* qu'on a attaqué par une compression *CODDYAC* à intensité de dégradation forte qui a eu un score légèrement plus faible ($DMOS = 4.01$) que la dégradation moyenne ($DMOS = 4.12$). Le maillage avec dégradation forte a été jugé donc ayant une qualité supérieure à celle du maillage avec dégradation moyenne. Le même effet s'est produit pour le maillage *Elephant* pour les erreurs de transmission sur réseaux avec le taux de pertes faible et moyen qui ont respectivement des valeurs de *DMOS* comme 4.34 et 4.13. Cependant, on estime que ces erreurs ont peu de conséquences sur l'utilité de notre corpus.

3. Résultats de l'évaluation des performances des métriques objectives

3.1. Métriques objectives de qualité de maillages

A l'issue de notre étude subjective de la qualité des maillages dynamiques, on a comparé les performances des métriques objectives récentes de qualité des maillages. La première mesure objective incluse dans nos tests est la mesure *KG* développée par Karni et Gotsman [KG04] pour quantifier la distance géométrique entre deux surfaces de maillages dynamiques. La deuxième mesure objective testée est la distance *STED* développée par Váša et Skala [VS11]. La métrique *STED* se base sur des mesures de la déformation spatio-temporelle des arêtes des surfaces maillées pour quantifier les dégradations. On a intégré dans notre étude comparative d'autres métriques perceptuelles récemment développées pour les maillages statiques : *MSDM2*,

Table 1: Métriques objectives de qualité de maillages incluses dans l'étude comparative.

Métrique	Principe	Maillages
<i>KG</i> [KG04]	distance géométrique entre les surfaces	dynamiques
<i>STED</i> [VS11]	différence spatio-temporelles des arêtes	dynamiques
<i>DAME</i> [VR12]	différence des angles dièdres	statiques
<i>MSDM2</i> [Lav11]	analyse multi-échelle des courbures	statiques
<i>FMPD</i> [WTM12]	différence de rugosité globale	statiques
<i>TPDM</i> [TWC12]	distance entre tenseurs de courbure	statiques

une mesure développée par Lavoué [Lav11] basée sur les courbures, *FMPD* développée par Wang *et al.* [WTM12] qui se base sur la comparaison de la rugosité globale de deux maillages statiques, *TPDM* introduite par Torkhani *et al.* [TWC12] qui mesure une distance entre les tenseurs de courbures, et finalement *DAME*, développée par Váša et Rus [VR12] et basée sur la comparaison des angles dièdres d'un maillage de référence avec un maillage dégradé. Pour ces métriques conçues pour les maillages statiques, la valeur moyenne des distances des maillages de chaque séquence est considérée pour mesurer la qualité de maillages dynamiques. Le tableau 1 résume les métriques incluses dans notre étude comparative.

3.2. Analyse des performances des métriques objectives

Afin d'étudier et comparer les performances des métriques objectives, deux coefficients de corrélation sont calculés entre les mesures objectives et les scores subjectifs : la corrélation linéaire de *Pearson* et la corrélation non-linéaire de *Spearman*. Le premier coefficient évalue le degré de dépendance linéaire. Le second coefficient permet de mesurer la corrélation entre les rangs de scores subjectifs avec les mesures de qualité perceptuelle objectives. Avant de calculer la corrélation linéaire de *Pearson*, on a appliqué une fonction de fitting non-linéaire psychométrique. La fonction appliquée sur les mesures objectives de chaque métrique est la fonction Gaussienne cumulative monotone :

$$g(a, b, m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{a+bm}^{+\infty} e^{-(x^2/2)} dx, \quad (1)$$

avec m la mesure objective de qualité, a et b des paramètres obtenues à travers un fitting non-linéaire entre toutes les mesures objectives et les scores subjectifs *DMOS*. Les tableaux 2 et 3 présentent les valeurs de corrélations de chaque métrique objective sur les neuf types de dégradations. La dernière colonne présente les corrélations globales sur toute la base de données (tous modèles et dégradations confondus). La première remarque qu'on peut déduire est que les métriques perceptuelles offrent d'une manière générale une corrélation plus élevée que la métrique géométrique simple *KG* (14.85% et 9.33% seulement de corrélation de *Pearson* et *Spearman* pour *KG*).

FMPD, la métrique développée pour les maillages statiques offre des valeurs de corrélations proches de celles de *STED*, l'unique métrique perceptuelle développée pour les

maillages dynamiques (64.56% et 63.60% pour les corrélations de *Pearson* et *Spearman* pour *STED* contre 64.24% et 64.04% pour *FMPD*, voir la dernière colonne des tableaux 2 et 3). L'analyse des corrélations par types de distorsions nous permet de bien repérer les distorsions que les métriques existantes échouent de capturer. La dégradation TM_2 introduit un bruit temporel qui se manifeste par un 'tremblement' de la surface de maillage, il n'existe pas encore une mesure objective capable de bien prédire la qualité de maillages bruités par ce type de déformation. Généralement, les métriques perceptuelles de qualité de maillages statiques englobent l'effet de masquage spatial, c'est pour cela qu'on obtient des corrélations pour les bruits SM_1 et SM_2 plus élevées que les bruits de masquage temporel TM_1 et TM_2 .

4. Conclusions et perspectives

Ce papier s'intéresse à l'évaluation de la qualité perceptuelle des maillages dynamiques. Dans un premier temps, on a construit une base de données qui englobe des maillages dynamiques avec plusieurs types de dégradations. On a ensuite mené une étude comparative pour l'évaluation des performances des métriques objectives existantes. Chaque métrique a été évaluée pour chaque distorsion incluse dans la base de données. On a constaté qu'il n'existe pas encore une métrique efficace sur tous les types de dégradations. La base de données sera partagée en ligne afin d'aider la communauté de développer des métriques perceptuelles sur les maillages dynamiques. Il serait intéressant d'ajouter d'autres types de dégradations (simplification, transmission sur réseaux sans-fil, etc.). Il est important de signaler que dans plusieurs applications, ces maillages dynamiques sont présentés aux utilisateurs avec une texture, il est donc important d'étendre notre étude dans le futur en ajoutant des maillages texturés.

Références

- [CLL*13] CORSINI M., LARABI M., LAVOUÉ G., PETŘÍK O., VÁŠA L., WANG K. : Perceptual metrics for static and dynamic triangle meshes. *Comput. Graphics Forum. Vol. 32*, Num. 1 (2013), 101–125.
- [DTN*10] DE SIMONE F., TAGLIASACCHI M., NACCARI M., TUBARO S., EBRAHIMI T. : A H.264/AVC video database for the evaluation of quality metrics. In *IEEE Int. Conf. on Acoust., Speech, Signal Process.* (2010), pp. 2430–2433.
- [Int08] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION :. Rec. P.910 : Subjective Video Quality Assessment Methods for Multimedia Applications, 2008.
- [Int12] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION :. Rec. BT.500 : Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures, 2012.
- [KG04] KARNI Z., GOTSMAN C. : Compression of soft-body animation sequences. *Comput. & Graphics. Vol. 28*, Num. 1 (2004), 25–34.

Table 2: Coefficients de corrélation linéaire de *Pearson* (en %) après un fitting non-linéaire. On présente en gras les valeurs de corrélation les plus élevées données par la meilleure métrique objective pour chaque distorsion (en colonnes) et pour toute la base de données (dernière colonne).

Métrique	Uniforme	Gaussien	SM_1	SM_2	TM_1	TM_2	FAMC	CODDYAC	Transmission	Tous
<i>KG</i>	42.42	42.67	41.62	38.17	59.15	-14.90	53.23	33.02	23.43	14.85
<i>STED</i>	60.92	63.94	66.41	73.08	63.76	5.66	74.42	59.25	53.13	64.56
<i>DAME</i>	22.69	25.85	46.23	35.02	22.69	-5.34	30.87	8.10	34.34	31.35
<i>MSDM2</i>	65.63	59.34	72.53	81.13	44.23	-0.89	59.38	50.63	75.84	61.84
<i>FMPD</i>	66.86	60.84	65.48	62.71	60.61	21.95	62.21	55.60	61.84	64.24
<i>TPDM</i>	49.82	48.88	49.77	57.60	54.85	13.99	54.82	51.95	66.06	53.49

Table 3: Coefficients de corrélation non-linéaire de *Spearman* (en %). On présente en gras les valeurs de corrélation les plus élevées données par la meilleure métrique objective pour chaque distorsion (en colonnes) et pour toute la base de données (dernière colonne).

Métrique	Uniforme	Gaussien	SM_1	SM_2	TM_1	TM_2	FAMC	CODDYAC	Transmission	Tous
<i>KG</i>	52.56	48.98	27.96	65.19	45.59	-0.52	60.52	54.12	58.93	9.33
<i>STED</i>	61.24	61.39	67.10	85.98	68.57	12.53	73.02	59.06	62.22	63.60
<i>DAME</i>	32.22	37.69	33.05	44.01	32.67	-16.94	34.58	16.31	33.15	30.64
<i>MSDM2</i>	66.62	59.21	72.19	80.41	40.98	-3.61	64.16	50.23	79.43	61.60
<i>FMPD</i>	66.34	63.74	67.67	61.58	54.00	25.32	57.66	56.20	68.08	64.04
<i>TPDM</i>	52.49	52.16	48.23	58.32	56.56	13.75	61.01	57.77	69.12	54.74

[Lav09] LAVOUÉ G. : A local roughness measure for 3D meshes and its application to visual masking. *ACM Trans. Appl. Percept.* Vol. 5, Num. 4 (2009), 21 :1–21 :23.

[Lav11] LAVOUÉ G. : A multiscale metric for 3D mesh visual quality assessment. *Comput. Graphics Forum*. Vol. 30, Num. 5 (2011), 1427–1437.

[LDD*06] LAVOUÉ G., DRELIE GELASCA E., DUPONT F., BASKURT A., EBRAHIMI T. : Perceptually driven 3D distance metrics with application to watermarking. In *Proc. of SPIE Electronic Imaging* (2006), pp. 63120L.1–63120L.12.

[MZP08] MAMOU K., ZAHARIA T., PRETEUX F. : FAMC : The MPEG-4 standard for animated mesh compression. In *Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Process.* (2008), pp. 2676–2679.

[SSF09] SILVA S., SANTOS B.-S., FERREIRA C., MADEIRA J. : A perceptual data repository for polygonal meshes. In *Proc. of Int. Conf. in Visualization* (2009), pp. 207–212.

[TWC12] TORKHANI F., WANG K., CHASSERY J.-M. : A curvature tensor distance for mesh visual quality assessment. In *Proc. of Int. Conf. on Computer Vision and Graphics* (2012), pp. 253–263.

[VR12] VÁŠA L., RUS J. : Dihedral angle mesh error : a fast perception correlated distortion measure for fixed connectivity triangle meshes. *Comput. Graphics Forum*. Vol. 31, Num. 5 (2012), 1715–1724.

[VS07] VÁŠA L., SKALA V. : Coddycac : Connectivity dri-

ven dynamic mesh compression. In *Proc. of 3DTV Conference* (2007), pp. 1–4.

[VS11] VÁŠA L., SKALA V. : A perception correlated comparison method for dynamic meshes. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graphics*. Vol. 17, Num. 2 (2011), 220–230.

[WTM12] WANG K., TORKHANI F., MONTANVERT A. : A fast roughness-based approach to the assessment of 3D mesh visual quality. *Comput. & Graphics*. Vol. 36, Num. 7 (2012), 808–818.