

# Saillance visuelle multi-échelle des maillages 3D par patches locaux adaptatifs pour la sélection des points de vues optimaux

Anass NOURI<sup>1</sup>, Christophe CHARRIER<sup>1</sup>, Olivier LÉZORAY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Normandie Université, UNICAEN, ENSICAEN GREYC UMR CNRS 6072, Caen, France  
{anass.nouri, christophe.charrier, olivier.lezoray}@unicaen.fr

**Résumé** – L’attention visuelle humaine est attirée par des régions spécifiques appartenant aux objets (pouvant être représentés par des maillages 3D). Celle-ci dépend fortement du degré de la saillance exposée par ces régions. Dans ce papier, nous proposons une nouvelle approche multi-échelle pour mesurer la saillance visuelle d’un objet 3D. Des descripteurs locaux sous forme de patches de taille adaptative remplis par un champ local des hauteurs de projections serviront à caractériser la surface des maillages. La saillance mono-échelle d’un noeud du maillage est définie par son degré, calculé à partir des poids des arêtes représentant la similarité entre les patches, pondéré par sa courbure locale. La saillance multi-échelle quant à elle est définie par la moyenne des saillances mono-échelle pondérées par leur entropie respective. La contribution majeure de l’aspect multi-échelle est analysée et démontrée à travers plusieurs résultats. Notre approche est compétitive avec l’état de l’art et ses bénéfices sont constatés à travers une application pour la sélection des points de vues optimaux exposant les régions perceptuellement saillantes pour l’observateur.

**Abstract** – Human visual attention is attracted by specific areas into 3D objects (represented by meshes). The latter depends on the degree of saliency exposed by these regions. In this paper, we propose a novel multi-scale approach for detecting saliency on 3D objects. Local descriptors, in the form of local patches with adaptive size filled with a local height field, are used to characterize the surface of the 3D meshes. The single-scale saliency of a vertex is defined as its degree measure in the mesh with edges weights computed from adaptive patch similarities weighted by the local curvature. Finally the multi-scale saliency is defined as the average of single-scale saliencies weighted by their respective entropies. The contribution of the multi-scale aspect is analyzed and showed through the different results. Our approach is compared to the state-of-the-art and presents a competitive results. Also an application for selecting the best optimal viewpoints exposing the most perceptually salient regions of meshes is presented.

## 1 Introduction

Lorsque nous regardons des objets pour la première fois, notre regard a tendance à se focaliser sur les régions saillantes qui attirent notre attention. Ces zones, souvent proéminentes dans le contexte d’un objet 3D, sont dépendantes du contenu de l’objet ou de la scène et indépendantes du comportement ou du vécu de l’observateur [1]. La mesure de la saillance visuelle permet alors de détecter les régions qui attirent l’attention visuelle de l’observateur ce qui constitue une information prépondérante dans de multiples domaines tels que le traitement du signal, la vision par ordinateur, l’informatique graphique [2] [4] [3] [5] etc. Dans ce papier, nous proposons une nouvelle méthode perceptuelle et multi-échelle mesurant la saillance visuelle d’un maillage 3D. Le papier est organisé de la manière suivante : Nous commençons par présenter un bref état de l’art dans la section 2 et nos principales contributions dans la section 3. La section 4 décrit le cœur de notre méthode à savoir la modélisation de la surface d’un maillage 3D, la construction des patches locaux adaptatifs et le calcul de la saillance mono-échelle et multi-échelle. Dans la section 5, nous analysons les résultats de notre mesure de la saillance sur divers maillages 3D et comparons notre approche avec des méthodes

de l’état de l’art. La section 6 montre une application intégrant notre modèle de saillance ayant pour objectif de sélectionner les points de vues optimaux d’un objet 3D maximisant la saillance. Et finalement nous concluons dans la section 7.

## 2 Etat de l’art

Contrairement aux images 2D où la saillance a été largement traitée, la saillance visuelle des maillages 3D ne connaît que peu de travaux traitant la géométrie de ces derniers [6]. Nous présentons ici quelques récentes contributions associées à cet axe de recherche.

Lee *et al.* [9] mesurent la saillance en utilisant un opérateur centre-pourtour sur les courbures Gaussiennes dans un espace d’échelles DoG.

Song *et al.* [7] proposent d’étudier la saillance dans le domaine spectral en analysant l’irrégularité du spectre de l’opérateur Log-Laplacien.

En utilisant le descripteur Spin-Images après une étape de remaillage, Tal *et al.* [8] déterminent les zones d’intérêt d’un maillage 3D en s’appuyant sur la notion de distinction mono-échelle/multi-échelle ainsi que sur la présence des extrémités sur le maillage.

Zhao *et al.* [11] proposent une approche calculant la distance entre les régions segmentées de la surface. Les détails de ces régions segmentées ont été renforcés auparavant par l'intermédiaire de la théorie Rétinex.

Song *et al.* [10] suggèrent de mesurer la saillance en incorporant le framework CRF (Conditional Random Field). En premier lieu une représentation multi-échelle du maillage est générée, ensuite un CRF est résolu en utilisant une contrainte de consistance entre les voisins afin de détecter les régions saillantes.

Nous nous limiterons aux méthodes de Tal [8], de Lee [9], et de Song [7] pour la comparaison.

### 3 Contribution

Il est très largement admis au sein de la communauté liée à la vision que la vision humaine est sensible aux fortes discontinuités et aux larges fluctuations [22]. De cette observation, il est possible de considérer que si un noeud du maillage ressort fortement de son voisinage, alors ce dernier pourrait être considéré comme un noeud saillant.

Notre approche repose sur plusieurs points clés :

1. L'adaptabilité de la taille des patches locaux utilisés comme descripteurs offre une meilleure considération des irrégularités de la surface du maillage.
2. La saillance d'un noeud est définie par son degré calculé à partir de similarités par rapport à ses voisins. Le calcul de cette similarité dépend d'un paramètre d'échelle offrant une bonne considération du voisinage, mais aussi de la distance spatiale entre les patches qui est pondérée par la courbure locale du noeud cible.
3. La saillance multi-échelle est définie par une combinaison efficace des différentes échelles pondérées par leurs entropies respectives. Ceci permet de tenir compte de la disparité de la saillance sur les différentes échelles.

De plus, notre méthode se distingue des autres par son indépendance à tout prétraitement/post-traitement relatif à la simplification, remaillage ou lissage. Ceci constitue un avantage dans la mesure où elle peut facilement être intégrée dans des algorithmes de traitement de maillages. Il est à noter que notre approche ne tient pas compte des variations dues aux positions initiales de l'observateur cependant, ceci n'influe pas sur la qualité et la pertinence de la saillance détectée comme nous le montrons à travers une comparaison avec une pseudo vérité terrain où les observateurs ont pu évaluer la saillance à partir de différents points de vues (en effet, s'agissant d'un objet 3D, les observateurs peuvent pivoter l'objet afin d'évaluer la saillance à partir de différents points de vues).

## 4 Saillance visuelle

### 4.1 Modélisation de la surface du maillage

Avant le calcul des descripteurs locaux, il est primordial de modéliser en premier lieu la surface. Pour cela, nous représentons la surface du maillage par un graphe non-orienté  $G =$

$(V, E, w)$  où  $V$  représente l'ensemble des noeuds,  $E$  l'ensemble des arêtes et  $w(v_i, v_j)$  le poids associé à l'arête  $(v_i, v_j)$ . Ensuite, il est nécessaire, via une ACP, de calculer en chaque noeud du maillage un vecteur normal  $\vec{n}(v_i)$  et un plan 2D tangent  $\vec{P}(v_i)$  estimé à partir des vecteurs directionnels suivant les axes  $x$  et  $y$ . Toutes les normales des noeuds sont par la suite orientées vers l'extérieur par l'intermédiaire de l'arbre couvrant de poids minimal [12].

### 4.2 Construction des descripteurs locaux : les patches de tailles adaptatives

Nous commençons par spécifier un voisinage sphérique  $S_\varepsilon = \{v_j \mid \|v_j - v_i\|_2^2\}$  autour du noeud cible  $v_i$ . Les noeuds contenus dans cette sphère  $S_\varepsilon$  sont projetés sur le plan  $\vec{P}(v_i)$  défini par les vecteurs directeurs associés. De cette projection résultent des vecteurs 2D définis par :

$$\vec{v}_j = [(\vec{v}_j - \vec{v}_i) \cdot \vec{x}(v_i), (\vec{v}_j - \vec{v}_i) \cdot \vec{y}(v_i)]^T \quad (1)$$

Ces points projetés servent à déterminer la taille adaptative de notre patch  $H(v_i)$  en calculant la distance maximale entre ces projections le long de l'axe  $x$  et de l'axe  $y$  notées respectivement  $T_x(\cdot)$  et  $T_y(\cdot)$  :

$$T_d(v_i) = \max_{(\vec{v}_j, \vec{v}_k) \in \vec{P}(v_i)} (\|\vec{v}_j^d - \vec{v}_k^d\|_2^2) \quad (2)$$

où  $d$  représente la coordonnée  $x$  ou  $y$ ,  $v_j^d$  la coordonnée  $d$  du vecteur  $\vec{v}_j$ , et  $\|\cdot\|_2$  la norme Euclidienne. Ainsi chaque noeud du maillage disposera d'un patch de taille  $T_x(v_i) \times T_y(v_i)$  décrivant la surface du maillage. On notera qu'habituellement un patch est représenté par un carré de taille fixe [13] et que cela ne permet pas de disposer d'un descripteur local adaptatif qui dépend de la configuration géométrique locale.

Ensuite, le patch est divisé en un nombre de cellules  $l \times l$  où chacune sera remplie par la valeur absolue de la somme des hauteurs de projections des noeuds associés  $\sum_{v'_j \in H_k(v_i)} \|\vec{v}_j - \vec{v}'_j\|$  où  $H_k(v_i)$  est la cellule  $k$  du patch  $H(v_i)$ .

### 4.3 La saillance mono-échelle

Pour calculer la saillance mono-échelle d'un noeud  $v_i$  du maillage, nous commençons par définir une mesure de similarité entre le patch de  $v_i$  et les patches de ses voisins adjacents :

$$w(v_i, v_j) = \exp \left[ -\frac{\text{curvature}(v_j) * \|\vec{H}(v_i) - \vec{H}(v_j)\|_2^2}{\sigma(v_i) * \sigma(v_j) * \|v_i - v_j\|_2^2} \right] \quad (3)$$

où  $\vec{H}(v_i) \in \mathbb{R}^{l \times l}$  représente le vecteur accumulant les hauteurs de projections dans les cellules du patch,  $\text{curvature}(v_j)$  est la courbure du noeud  $v_j$ ,  $\|v_i - v_j\|_2^2$  la distance Euclidienne et  $\sigma(v_i)$  le paramètre d'échelle permettant de prendre en compte la distribution locale du voisinage autour du noeud cible  $v_i$  :  $\sigma(v_i) = \max_{v_k \sim v_i} (\|\vec{v}_i - \vec{v}_k\|_2)$ . Il est à noter que nous avons testé un paramètre d'échelle basé sur la norme Euclidienne entre les patches, toutefois la norme Euclidienne entre

les coordonnées 3D des noeuds a conduit vers de meilleurs résultats. Finalement, la saillance visuelle du noeud  $v_i$  est calculée par son degré :

$$\text{Saillance-mono-echelle}(v_i) = \left( \frac{1}{|v_j \sim v_i|} \right) \sum_{v_i \sim v_j} w(v_i, v_j) \quad (4)$$

où  $w(v_i, v_j)$  représente le poids de l'arête entre le noeud  $v_i$  et  $v_j$ , et  $|v_j \sim v_i|$  est la cardinalité du voisinage.

#### 4.4 La saillance multi-échelle

Dans le but de considérer l'aspect hiérarchique de la vision humaine [14], nous avons décidé d'estimer la saillance sur plusieurs échelles. Sur les échelles fines (figure 1(b)), la mesure de la saillance détectera les détails acérés et fins, tandis que sur les grandes échelles, la mesure de la saillance fera ressortir les larges zones saillantes (figure 1(d)). Un autre intérêt de l'aspect multi-échelle s'inscrit dans la robustesse de la méthode face au bruit étant donné qu'il est perceptible uniquement sur quelques échelles. Pour cela, nous varions le rayon  $\varepsilon$  de la sphère  $S_\varepsilon$  lors de la construction des patches ce qui permet de considérer trois voisinages de tailles différentes. Trois cartes de saillances mono-échelle sont alors calculées et combinées en prenant en compte l'entropie de chacune d'elles. En effet, la mesure de l'entropie permet d'évaluer le désordre et la disparité de la saillance sur chacune des cartes. Finalement, la saillance multi-échelle est donnée par :

$$\text{Saillance Multi-échelle}(v_i) = \frac{\sum_{k=1}^3 \text{Saliency}^k(v_i) * \text{entropy}^k}{\sum_{k=1}^3 \text{entropy}^k} \quad (5)$$

où  $k$  est l'indice de l'échelle.

## 5 Résultats et comparaisons avec l'état de l'art

La figure 1 présente le résultat de la saillance calculé sur un maillage original représentant un gorille. Nous pouvons remarquer que la saillance mono-échelle est fortement influencée par le rayon du voisinage sphérique  $\varepsilon$ . Comme prévu, un voisinage restreint ( $\varepsilon = 1$ ) (figure 1(a)) conduit à détecter les petits détails fins contrairement à un grand voisinage qui fait ressortir les régions saillantes étendues (figure 1(d)). Nous pouvons également remarquer qu'avec l'élargissement du voisinage, les zones très saillantes (par exemple le nez et les yeux) deviennent fortement saturées. Ceci est corrigé par l'introduction de l'aspect multi-échelle pondéré par l'entropie des cartes mono-échelle. Ce dernier permet de détecter les détails fins comme les yeux, le nez, la bouche (parties fortement regardées dans les scènes contenant des visages [15]) et les orteils.

Sur la figure 2, nous comparons le résultat de la saillance détectée subjectivement (par des observateurs humains) sur divers maillages 3D de la base 2007 SHREC Shape-based Retrieval Contest [16] et le résultat de notre approche. Nous pouvons remarquer que le résultat de notre méthode correspond bien aux résultats de la pseudo-vérité terrain.

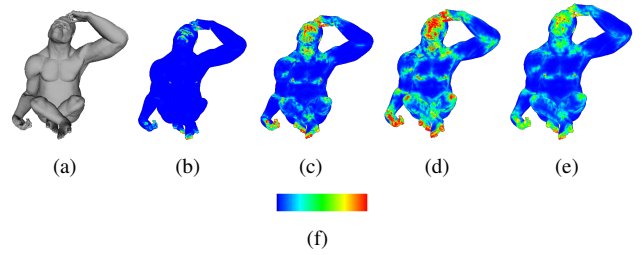


FIGURE 1 – (a) maillage Gorille original (25438 noeuds), (b) la saillance mono-échelle ( $l = 27$  et  $\varepsilon=1$ ), (c) la saillance mono-échelle ( $l = 27$  et  $\varepsilon=2$ ), (d) la saillance mono-échelle ( $l = 27$  et  $\varepsilon=3$ ), (e) la saillance multi-échelle, et (f) représente la palette des couleurs. Le rouge fait référence aux zones fortement saillantes. Le bleu représente les zones à faible saillance.

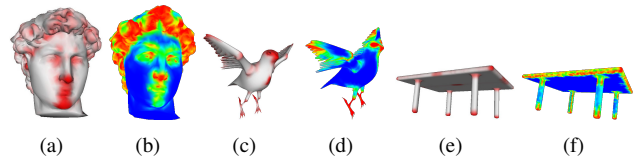


FIGURE 2 – Comparaison avec une pseudo-vérité terrain [16] : les images (a),(c) et (e) représentent la pseudo-vérité de la saillance. Les images (b),(d) et (f) représentent la saillance détectée avec notre méthode ( $l=17$ ).

Sur la figure 3, nous considérons un maillage représentant un dinosaure sur lequel nous comparons notre mesure de la saillance avec 3 méthodes de l'état de l'art. L'approche de Tal *et al.* [8] juge les côtes du dinosaure localisées sur le dos et le ventre non saillantes. Or, ces zones fluctuent extrêmement et comportent de fortes discontinuités. A contrario notre approche juge ces côtes très saillantes à cause de leurs fortes discontinuités. Notons aussi que notre approche ne considère pas le crâne du dinosaure entièrement saillant (excepté les yeux et les courbures) contrairement à l'approche de Tal *et al.* [8]. En ce qui concerne l'approche de Lee *et al.* [9], nous pouvons observer que la saillance est faiblement détectée sur les zones à fortes fluctuations (colorées en vert foncé) et que les détails fins locaux ne sont pas pris en compte. Cependant, l'approche de Song *et al.* [7] obtient une mesure de saillance similaire à la nôtre dans la mesure où elle peut différencier entre les régions planes et les régions à fortes discontinuités.

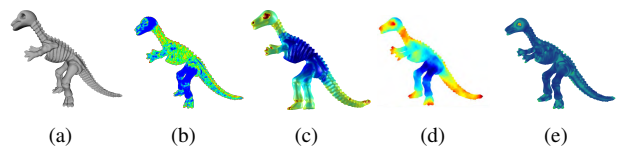


FIGURE 3 – Comparaison avec l'état de l'art : (a) maillage dinosaure original (21777 noeuds), (b) la saillance multi-échelle avec notre méthode ( $l=17$ ), (c) la saillance avec la méthode de Tal *et al.* [8], (d) la saillance avec la méthode de Song *et al.* [7] et (e) la saillance avec la méthode de Lee *et al.* [9].

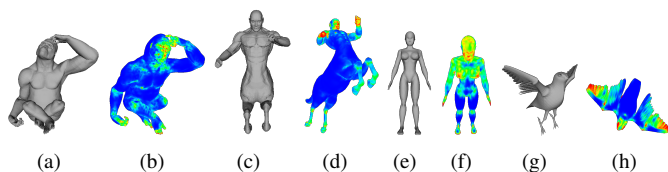


FIGURE 4 – Les points de vues optimaux sélectionnés par notre approche : les images (a), (c), (e) et (g) représentent les maillages 3D originaux. Les images (b), (d), (f) et (h) montrent les points de vues associés maximisant de la saillance.

## 6 Sélection des points de vues optimaux

Dans le but d’appliquer et d’évaluer l’apport de notre modèle de saillance, nous avons élaboré une approche sélectionnant les régions perceptuellement saillantes d’un objet 3D à exposer pour un observateur. Le critère principal de notre méthode de sélection de ces points de vues est de distinguer les régions maximisant la saillance visuelle. A cet effet, nous commençons par déterminer le point de vue maximisant la saillance le long de l’axe des abscisses en échantillonnant uniformément une sphère englobant notre maillage. Soit  $vp$  le point de vue sur l’axe  $x$  et  $surface(vp)$  les noeuds visibles à partir de ce point de vue. La saillance globale de cette surface est donnée par :

$$Saillance_{Globe_{axe_x}}(vp) = \sum_{v \in surface(vp)} Saillance_{Multi-echelle}(v) \quad (6)$$

Ainsi le point de vue optimal le long de l’axe des abscisses est défini par  $max(GlobalSaliency_{axis_x}(vp_i))$  où  $vp_i$  représente les différents points de vues sur l’axe des abscisses. A partir de ce dernier point de vue, nous procédons de la même manière pour sélectionner le point de vue optimal global maximisant la saillance sur l’axe des ordonnées. Une fois ce point déterminé, nous recherchons en utilisant l’optimisation de la descente de gradient le point de vue optimal sur les 3 axes  $\vec{x}, \vec{y}, (\vec{y} - 45^\circ)$  à la fois. La figure 4 montre les points de vues optimaux sélectionnés par notre approche après calcul de la saillance. Sur la figure 4, on peut remarquer que notre approche parvient à mesurer la saillance d’une manière précise sur divers maillages 3D. Nous pouvons également percevoir que les points de vues optimaux générés concordent astucieusement avec les points de vues les plus familiers quant à ces objets 3D et répondent convenablement au critère de maximisation de la saillance défini ci dessus.

## 7 Conclusion

Nous avons proposé dans ce papier une nouvelle approche multi-échelle simulant l’attention visuelle dans le but de détecter les régions saillantes sur les maillages 3D. Notre méthode est basée sur les fluctuations se trouvant sur la surface du maillage. Ces dernières exposent des discontinuités qui attirent l’attention visuelle. Pour cela, des patches de tailles adaptatives accumulant les hauteurs des projections des points 3D sont mis en oeuvre. Ils permettent de caractériser la surface et sont utilisés comme des descripteurs locaux. Puis, une mesure de similarité entre les patches conduit à quantifier la différence perceptuelle d’un noeud par rapport à son voisin et ainsi obtenir la saillance en chaque noeud du maillage. Nous avons également

présenté une application de notre modèle de saillance permettant de sélectionner les points de vues les plus optimaux attirant l’attention visuelle d’un observateur. Nos travaux futurs auront pour but d’améliorer les cartes de saillance en intégrant de nouveaux attributs perceptuels.

## Références

- [1] L. Itti and C. Koch and E. Niebur *A model based visual attention*. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. vol 20, 1998.
- [2] P. Shilane and T. Funkhouser *Distinctive Regions of 3D Surfaces*. ACM Trans. Graph.. vol 26, 2007.
- [3] R. Gale and D. Cohen-Or *Salient geometric features for partial shape matching and similarity*. ACM Trans. Graph. vol 25, 2006.
- [4] J. Zhang, C. Li, X. Zhou and . Yanfeng *Mesh Resizing Based on Hierarchical Saliency Detection*. Graph.Models. vol 76, 2014.
- [5] L. Jinho, M. Baback, P. Hanspeter and M. Raghu Machiraju *Finding Optimal Views for 3D Face Shape Modeling*. Proc. International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 31–36, 2004.
- [6] Z. Liu, Z. Wenbin, and O. Le Meur *A Novel Saliency Detection Framework*. Image Processing, IEEE Transactions, 23, 2014.
- [7] R. Song, Y. Liu, R. Martin and P. Rosin *Mesh saliency via spectral processing*. ACM Trans. Graph., 33, 2014.
- [8] A. Tal, Y. Liu, R. Martin and P. Rosin *Mesh saliency via spectral processing*. ACM Trans. Graph., 33, 2014.
- [9] C. Lee, V. Amitabh, J. Martin and W. David *Mesh saliency*. ACM Trans. Graph., 24, 2005.
- [10] R. Song, Y.Liu, Y. Zhao, R. Martin and P. Rosin *Conditional random field-based mesh saliency*. 19th IEEE International Conference on Image Processing, ICIP, 2012.
- [11] Y. Zhao, Y. Liu, and Z. Zeng *Using Region-Based Saliency for 3D Interest Points Detection*. CAIP (2), ICIP, 108-116, 2013.
- [12] H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp, J. McDonald and W. Stuezle *Surface Reconstruction from Unorganized Points*. SIGGRAPH Comput. Graph., 26, 1992.
- [13] A. Maximo, R. Patro, A. Varshney, J. McDonald and R. Farias *A Robust and Rotationally Invariant Local Surface Descriptor with Applications to Non-local Mesh Processing*. Graph. Models, 73, 2011.
- [14] K. Grill Spector, and R. Malach *The Human Visual Cortex*. Annual Review Of Neuroscience, 649-677 2004.
- [15] J. Henderson, C. Williams and R. Falk *Eye movements are functional during face learning*. Memory and cognition, 98-106 2005.
- [16] X. Chen, A. Saporov, B. Pang and T. Funkhouser *Schelling Points on 3D Surface Meshes*. ACM Trans. Graph, 29 :1-12 2012.