

Morphing de Modèles 3D Estimés *

Benjamin Le Guen¹

¹ IRISA/INRIA-Rennes
Campus de Beaulieu
35042 Rennes

Raphaèle Balter^{1et2}

² France Telecom R&D
4 rue du Clos Courtel
35512 Cesson-Sévigné

Luce Morin¹

³ INRIA
2004 route des lucioles
06902 Sophia Antipolis

Pierre Alliez²

raphaele.balter@rd.francetelecom.com, luce.morin@irisa.fr et pierre.alliez@sophia.inria.fr

Résumé

L'extraction de modèles 3D à partir de scènes réelles filmées par une simple caméra en mouvement est un thème ouvrant de nombreuses perspectives d'application comme le codage très bas débit, la réalité augmentée ou la navigation virtuelle. L'utilisation de plusieurs modèles successifs pour la même séquence permet une grande robustesse et une généralité pour les longues séquences. Mais les transitions entre les modèles introduisent des artefacts visuels sur la séquence reconstruite. On propose donc ici un morphing 3D adapté à ces modèles issus de données réelles et non de synthèse. Ce morphing 3D comprend trois étapes; une mise en correspondance, une fusion et une interpolation. La mise en correspondance est réalisée par une paramétrisation aux bords libres en utilisant la formule de Floater. La fusion se base sur l'algorithme de Kent en y ajoutant la gestion de cas particuliers. Enfin les modèles intermédiaires sont obtenus par une interpolation linéaire basée sur la connectivité commune issue de l'étape de fusion.

Mots clefs

Morphing 3D, Paramétrisation, Fusion de Maillages.

1 Introduction

A partir d'une vidéo d'une scène acquise par une ou plusieurs caméras on peut extraire automatiquement un flux de modèles 3D de la scène. Par reprojection de ces modèles on peut reconstruire une séquence virtuelle semblable à l'originale [1]. Ce type de représentation est très avantageux car il permet de coder à très bas débit une vidéo représentant une scène statique tout en ajoutant des fonctionnalités grâce au passage par le 3D, comme la navigation virtuelle qui correspond à un changement de trajectoire de la caméra par rapport au chemin original de la vidéo d'entrée.

L'utilisation de plusieurs modèles successifs pour la même scène permet une grande robustesse et une généralité pour les longues séquences (aucune hypothèse n'est faite sur le contenu de la scène ou sur la calibration de la caméra). Mais les transitions entre les différents modèles introduisent des artefacts visuels.

Or dans le cadre d'applications telles que le codage vidéo ou la navigation virtuelle il est indispensable d'optimiser la qualité de la séquence reconstruite. Des post-traitements visant à adoucir ces transitions ont déjà été proposés pour pallier à ces artefacts visuels:

- un *fondus de texture* et un *fondus 3D* qui adoucissent les transitions mais introduisent des effets de fantômes [1]
- un *morphing d'élévation* et un *morphing bidirectionnel* [2] qui améliorent les effets fantômes.

Cependant ces méthodes correspondent à une interpolation des profondeurs le long des lignes de vue et elles ne sont donc pas satisfaisantes pour traiter les zones d'occlusion, c'est à dire les zones qui se découvrent ou qui sont recouvertes au cours de la séquence vidéo. De plus, elles reposent sur des correspondances approximatives pouvant entraîner des effets fantômes. Enfin, elles n'évitent pas un remaillage qui introduit une rupture de connectivité pouvant produire des artefacts visuels gênants.

C'est pourquoi nous proposons d'utiliser un morphing réellement 3D (et non pas le long des lignes de vue), s'appliquant sur une fusion des maillages des deux modèles successifs, afin de supprimer les ruptures de connectivité.

Les méthodes classiques de morphing 3D [3, 4] reposent sur deux étapes principales :

- La mise en correspondance de chaque point du maillage source avec un point du maillage cible (et vice versa).
- L'interpolation qui définit la trajectoire entre chaque paire de sommets se correspondant.

Mais ces méthodes de morphing sont adaptées aux données de synthèse. Or les données que nous traitons sont réelles et nous avons donc dû intégrer les contraintes issues de ce type de représentation aux étapes précédentes.

On propose donc ici un morphing 3D basé sur trois étapes :

- la *mise en correspondance* mutuelle des sommets du maillage source vers le maillage cible (et vice versa) par la paramétrisation des deux maillages,
- la *fusion* des deux paramétrisations obtenues pour élaborer une connectivité commune aux deux modèles successifs,
- l'*interpolation* de la géométrie du maillage source vers le maillage cible, selon les correspondances établies.

Après avoir brièvement décrit les modèles d'entrée dans la section 2 et surtout mis en avant les caractéristiques qui

* Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'ARC-INRIA Télégeo.

posent problème pour un morphing 3D, on détaille ensuite les trois étapes introduites ci-dessus dans les sections 3 à 5. On montre enfin les résultats donnés par la méthode proposée en comparaison avec les post-traitements proposés précédemment.

2 Les modèles

Les modèles 3D sont obtenus par l’algorithme de Galpin [1] qui produit un flux de modèles 3D à partir d’une vidéo. Chaque modèle 3D représente une portion de la séquence vidéo d’entrée appelée un *GOF (Group of Frames)*. Les modèles 3D sont texturés par la première image du GOF auquel ils correspondent.

Ces modèles 3D étant issus d’une phase d’analyse comprenant de nombreuses estimations, les erreurs intrinsèques à ces estimations produisent des modèles 3D bruités (cf. Fig 1) qui se distinguent des modèles issus de la synthèse d’images par leur aspect non lisse. Ce bruit se caractérise essentiellement par des pics, autrement dit des facettes allongées.

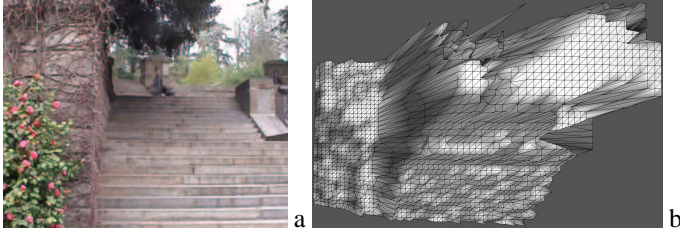


Figure 1 – Première image de la séquence escalier (a). Modèle obtenu après analyse de la première portion de la séquence (b).

On va maintenant détailler les étapes du morphing 3D adapté à ces modèles issus de données réelles en intégrant les contraintes ajoutées par rapport aux modèles de synthèse.

3 La mise en correspondance

La mise-en-correspondance des modèles consiste à spécifier un ensemble de points en correspondance, ou à définir une fonction bijective entre les surfaces des deux modèles. Dans notre cas, la mise en correspondance doit être entièrement automatique et elle doit associer les mêmes points physiques de la scène dans les deux modèles, afin d’éviter les effets fantômes lors de la combinaison des textures. La mise en correspondance mutuelle des sommets du maillage source vers le maillage cible se fait par la *paramétrisation* des deux maillages [5] c’est-à-dire en les projetant dans le même espace 2D (cf. Fig 2). Deux points ayant la même localisation dans l’espace de paramétrisation sont alors en correspondance. Dans notre cas, l’espace 2D commun choisi est le plan image du deuxième maillage où celui-ci se projette sous la forme d’une grille régulière. Calculer une paramétrisation optimale revient à résoudre un système linéaire établissant des correspondances entre

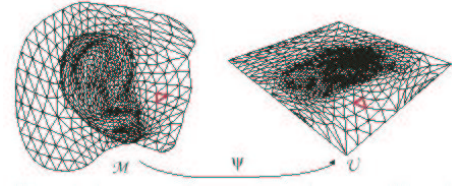


Figure 2 – Correspondance bijective entre un maillage 3D M et un maillage plan U (d’après [5])

sommets 3D et sommets 2D en minimisant une mesure de distortion E . On a donc pour tout noeud $\mathbf{u}_i=(u_i, v_i)$ dans l’espace de paramétrisation:

$$\frac{\partial E}{\partial \mathbf{u}}(u_i, v_i) = 0$$

Il est souvent nécessaire de fixer des *épingles* dans la paramétrisation. Le système linéaire à résoudre devient alors:

$$\mathbf{M}\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \lambda \mathbf{M}^A & + & \mu \mathbf{M}^X \\ \mathbf{0} & & \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{U}^{libres} \\ \mathbf{U}^{fixées} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{C} \end{bmatrix},$$

Afin d’établir les correspondances pour les sommets laissés libres (i.e qui ne sont pas des épingles), ce système linéaire est résolu en utilisant la méthode du gradient bi-conjugué avec un pré-conditionnement approprié.

Dans le domaine de la synthèse [4], le morphing d’objets 3D requière généralement que les frontières des deux objets soient mises en correspondance. Lors de la paramétrisation, elles sont alors épinglées sur les contours d’un même cercle (ou d’un même triangle ...). Dans notre cas, les bords des modèles ne correspondent pas aux mêmes points physiques et ne doivent donc pas être mis en correspondance. On choisit donc d’utiliser une paramétrisation à bords libres.

Afin d’assurer une bonne superposition des textures, un grand nombre d’épingles est fixé par reprojection des sommets du modèle courant M_n sur le point de vue associé au modèle suivant M_{n+1} . En cas de retournement de triangles (typiquement dans les zones de recouvrement), les points sont libérés et leurs correspondants sont fixés par la paramétrisation.

Le bruit sur les modèles décrit dans la section 2 ne permet pas d’utiliser la paramétrisation conforme, qui privilégie la conservation des angles, ni la paramétrisation authalique, qui privilégie la minimisation des aires. En effet, elles font intervenir les cotangentes des angles du maillage, avec l’hypothèse implicite qu’ils sont inférieurs à $\pi/2$. Or les allongements de facettes 3D observés (pics) introduisent des angles supérieurs à $\pi/2$, et empêchent la convergence vers une solution cohérente.

Pour pallier à ce problème on choisit d’utiliser les angles de Floater [6] qui a proposé une généralisation du concept de coordonnées barycentriques de façon à pouvoir exprimer un sommet dans une triangulation planaire comme une combinaison convexe de ses voisins.

On obtient donc à l'issue de cette étape deux modèles 3D paramétrés dans le même espace 2D (cf. Fig. 3). On note H_n et H_{n+1} les paramétrisations obtenues et correspondant respectivement au remaillage de M_n et M_{n+1} .

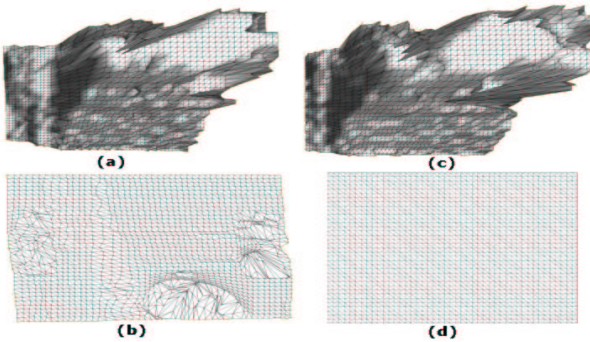


Figure 3 – Résultats obtenus à l'issue de la paramétrisation pour la séquence thabor (mouvement de translation latérale) : M_n (a), M_{n+1} (b), H_n (c), H_{n+1} (d)

4 Fusion des deux paramétrisations

Le morphing nécessite des correspondances sommet à sommet. Pour cela un remaillage des deux modèles est effectué afin que chaque sommet ait un correspondant. Ce remaillage est réalisé par fusion des paramétrisations, c'est-à-dire construction d'un maillage triangulaire plan H_c contenant tous les sommets et arêtes des deux maillages plans H_n et H_{n+1} . H_c fournit une connectivité commune pour les deux maillages.

Nos paramétrisations étant quelconques certains sommets sont *singuliers* (cf. Fig. 4), ils correspondent aux cas particuliers suivants :

- Un sommet de H_n ayant la même coordonnée qu'un sommet de H_{n+1} (et vice versa) dans l'espace de paramétrisation sera dit *superposed*,
- Un sommet de H_n non *superposed* appartenant à une arête de H_{n+1} (et vice versa) dans l'espace de paramétrisation sera dit *on_edge*,
- Un sommet de H_c provenant de l'intersection d'une arête de H_n et d'une arête de H_{n+1} dans l'espace de paramétrisation sera dit *split*.

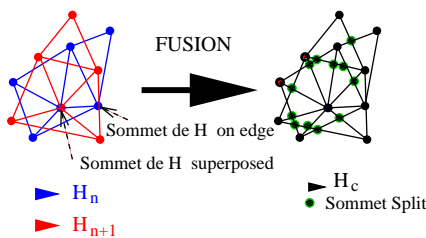


Figure 4 – Sommets singuliers

La fusion des paramétrisations repose sur plusieurs étapes :

- Initialisation de la fusion avec H_{n+1} , on complètera ensuite avec H_n ,
- Recherche des intersections entre H_n et H_{n+1} ,
- Création des liens entre les intersections trouvées à l'étape précédente,
- Ajout des derniers sommets de H_n (sommets non singuliers, i.e. non *superposed* ou *on_edge*) et des arêtes manquantes.

La recherche des intersections se base sur l'algorithme de Kent [7], en ajoutant la gestion des sommets singuliers et des superpositions d'arêtes.

Le maillage obtenu par la fusion est enfin triangulé par subdivisions successives des facettes non triangulaires. La figure 5 montre le résultat d'une fusion de paramétrisations.

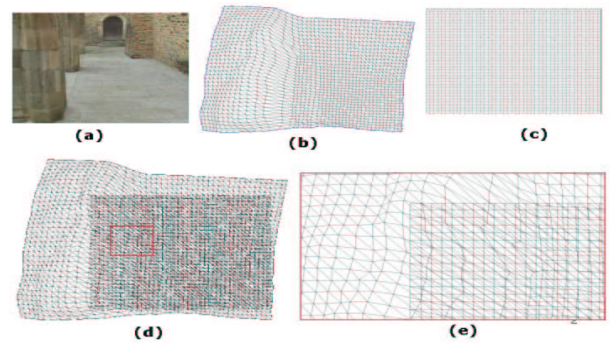


Figure 5 – Résultat de la fusion des paramétrisations pour la séquence cloître (mouvement de translation vers l'avant) : Image de la séquence (a); H_n (b); H_{n+1} (c); Fusion obtenue (d) et (e).

Cette fusion des paramétrisations a permis de mettre en place une connectivité commune aux deux modèles afin d'assurer des correspondances sommet à sommet à partir de la mise en correspondance fournie par la paramétrisation dans le même espace 2D.

5 Interpolation

La dernière étape est l'interpolation linéaire entre les sommets des deux maillages.

Il nous faut donc générer les deux arguments essentiels à l'interpolation :

- le maillage source F_n , ayant la géométrie de M_n et la connectivité commune H_c ,
- le maillage cible F_{n+1} , ayant la géométrie de M_{n+1} et la connectivité commune H_c .

Les sommets de H_c qui ont été ajoutés lors de la fusion ne possèdent pas d'information géométrique correspondant à M_n ou à M_{n+1} ou aux deux. Ils sont placés de façon à ne pas modifier la géométrie des modèles, c'est-à-dire sur les facettes préexistantes. Un fois identifiée la facette contenant un sommet, ses coordonnées barycentriques dans la facette fournissent une bonne estimation de ses coordonnées 3D. Les coordonnées barycentriques sont facilement calculables pour les facettes de H_{n+1} car c'est un maillage

régulier. Par contre dans le cas d'un sommet dans H_n provenant de M_{n+1} le calcul est moins direct car il faut retrouver la facette de H_n à laquelle il appartient par un parcours exhaustif. Une fois la facette correspondante à un sommet identifiée on estime les coordonnées barycentriques par:

$$\left. \begin{aligned} d &= \alpha a + \beta b + \gamma c \\ \alpha + \beta + \gamma &= 1 \end{aligned} \right\}$$

Les modèles intermédiaires sont ensuite obtenus par interpolation linéaire entre les sommets de F_n et F_{n+1} et les images de texture intermédiaires sont obtenues par une interpolation entre les images de texture associées aux modèles.

6 Résultats

Les images de la figure 6 présentent le rendu obtenu lors de la reconstruction de la séquence originale pour les différents post-traitements. Les méthodes de morphing permettent de supprimer l'effet fantôme que l'on constate avec le fondu. Le morphing 3D améliore également la qualité des images par rapport aux morphing d'élévation au niveau des contours et des bords qui sont mieux gérés (par la prise en compte de tous les sommets dans le maillage fusion).

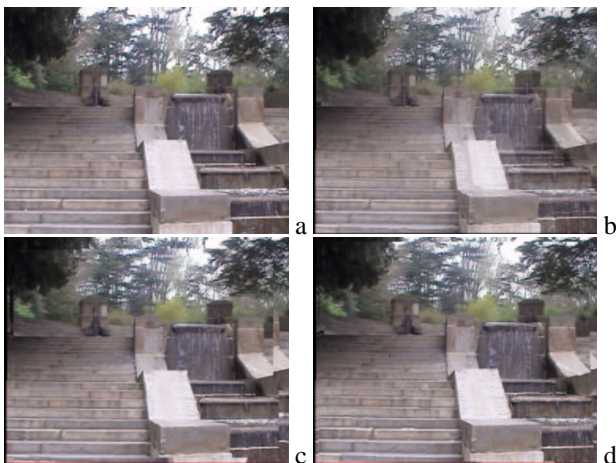


Figure 6 – Image originale de la séquence escalier (a). Image reconstruite avec le fondu de textures (b), avec morphing d'élévations (c), et avec le morphing 3D (d).

Dans le cadre de l'application de navigation libre l'utilisation du morphing fait disparaître les ruptures géométriques et topologiques tout en améliorant la qualité des contours et des bords comme le montrent les images de la figure 7. L'ajout de ce morphing 3D permet donc de rendre plus nets les contours des objets et de supprimer les sauts géométriques et topologiques à la transition entre deux modèles 3D successifs.

7 Conclusion

On a proposé dans cet article un morphing tridimensionnel adapté à des données réelles en prenant en compte les

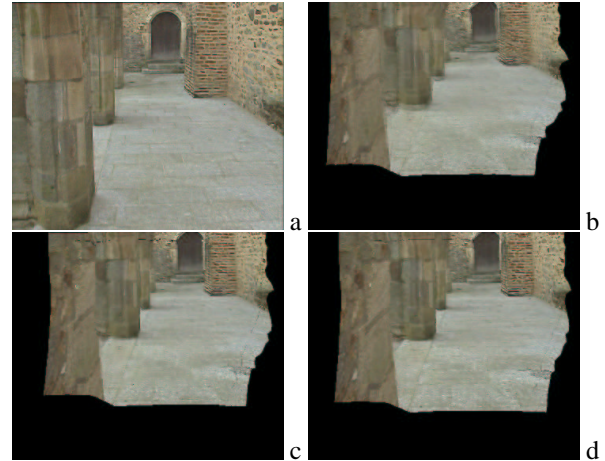


Figure 7 – Image originale de la séquence (a). Image de navigation libre avec le fondu de textures (b), avec morphing d'élévations (c), et avec le morphing 3D (d).

contraintes dues à celles-ci par rapport aux modèles issus de la synthèse. Ce morphing 3D permet de supprimer les sauts géométriques et topologiques lors de la transition entre les modèles sans ajouter d'effet fantôme.

Il serait intéressant de faire tendre ce schéma vers le temps réel en calculant par exemple les arguments pour l'interpolation au codage. Une autre perspective serait d'améliorer encore le rendu de la séquence reconstruite en remplaçant l'interpolation linéaire par une interpolation non linéaire.

Références

- [1] Franck Galpin et Luce Morin. Sliding adjustment for 3d video representation. *Eurasip Journal ASP, special issue on Signal Processing for 3D Imaging and Virtual reality*, 2002.
- [2] Raphael Balter et Luce Morin. Morphing 3d bidirectionnel entièrement automatique.
- [3] Francis Lazarus et Anne Verroust. Three-dimensional metamorphosis: a survey. *The Visual Computer*, pages 373–389, December 1998.
- [4] Marc Alexa. Recent advances in mesh morphing. Dans *Computer graphics forum*, pages 173–196, 2002.
- [5] Mathieu Desbrun, Mark Meyer, et Pierre Alliez. Intrinsic parameterizations of surface meshes. Dans *Eurographics Conference*, 2002.
- [6] Michael S. Floater. Mean value coordinates. Dans *Computer Aided Geometric Design*, pages 19–27, May 2002.
- [7] James R. Kent, Wayne E. Carlson, et Richard E. Parent. Shape transformation for polyhedral objects. Dans *Computer Graphics*, pages 47–54, July 1992.