

Morphing de Modèles 3D Estimés

Benjamin Le Guen¹

Raphaèle Balter^{1 et 2}

Luce Morin¹

Pierre Alliez²

¹ IRISA/INRIA-Rennes
Campus de Beaulieu
35042 Rennes

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

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 vrai 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 afin de supprimer le bruit sur les modèles du à l'analyse. 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 le maillage issu de la fusion retriangulée entre les géométries des deux modèles à morpher.

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 lui ajoutant des fonctionnalités grâce au passage par le 3D, comme la navigation virtuelle par exemple 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 cartes de profondeurs. Elles reposent sur des correspondances approximatives et il existe toujours une rupture de connectivité introduite par le remaillage.

Afin d'optimiser la qualité de la séquence reconstruite on veut non seulement adoucir les transitions entre modèles mais aussi gérer les occultations, c'est à dire les zones qui se découvrent ou qui sont recouvertes au cours de la séquence vidéo.

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 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 de l'état de

l'art.

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. Deux modèle 3D successifs représentent deux portions distinctes 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.

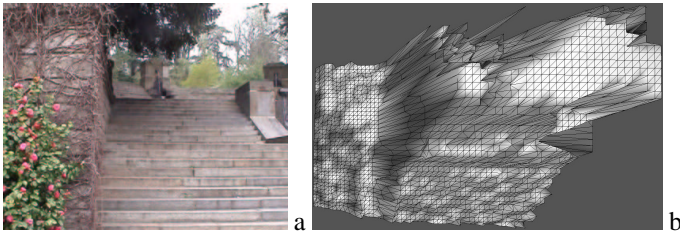


Figure 1 – (a) Première image de la séquence escalier (b) Modèle obtenu après analyse de la première portion de la séquence.

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

3 La mise en correspondance

La mise en correspondance mutuelle des sommets du maillage source vers le maillage cible (et vice versa) se fait par la *paramétrisation* des deux maillages [5] c'est dire en les projetant dans le même espace 2D (cf. Fig 2).

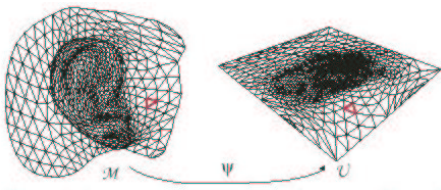


Figure 2 – Correspondance bijective entre un maillage 3D M et un maillage plan U

Calculer une paramétrisation optimale revient à résoudre un système linéaire établissant des correspondances entre 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 afin d'optimiser celle-ci. Le système linéaire à résoudre devient est donc de la forme:

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

Une fois que les épingles ont été choisies, ce système linéaire est résolu en utilisant la méthode du gradient bi-conjugué avec un pré-conditionnement approprié afin d'établir les correspondances pour les sommets laissés libres (i.e qui ne sont pas des épingles).

Dans la plupart des cas dans le domaine de la synthèse (voir [4]), le morphing d'objets 3D requièrent 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, on ne souhaite interpoler que les régions 3D réellement commune aux deux modèles. Or les bords des deux modèles ne peuvent pas être mis en correspondance, car ceux-ci ne représentant pas le même sectionnement de la scène. On choisit donc d'utiliser une paramétrisation à bords libres.

On fixe un grand nombre d'épingles pour que les textures se superposent parfaitement et que l'on ait pas d'effet fantôme sur les images reconstruites. Pour fixer les épingles on utilise les correspondances obtenues par reprojection du modèle courant M_n sur le point de vue associé au modèle suivant M_{n+1} . Par contre cette méthode engendre des problèmes de retournement de triangles. On va donc libérer les points dont les correspondants sont à l'origine de retournements de triangles. Pour ces points leurs correspondants seront fixés par la paramétrisation.

Le bruit sur les modèles introduit dans la section 2 est très problématique pour la paramétrisation. En effet, les allongements de facettes 3D observés introduisent des angles supérieurs à $\pi/2$. Or la paramétrisation conforme, qui privilégie la conservation des angles, comme la paramétrisation authalique, qui privilégie la minimisation des aires, sont basées sur des cotangentes. Or, des cotangentes d'angles supérieurs à $\pi/2$ donnent des coefficients négatifs dans les équations, ce qui atténue d'autant plus la possibilité d'une convergence de la méthode du gradient bi-conjugué vers une solution cohérente. On ne peut donc pas appliquer une paramétrisation classique à nos modèles.

Pour pallier à ce problème on choisit d'utiliser les angles de Floater 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 choisit donc de construire le système linéaire à résoudre avec la formule de Floater [6] pour les sommets laissés libres car elle permet de supprimer les pics (i.e angle supérieur à $\pi/2$) dus au bruit sur les données d'entrée.

Afin de robustifier cette algorithme de mise en correspondances on réitère ces étapes suivantes jusqu'à ce que le résultat soit valide selon un critère basés sur les retournements de triangles.

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

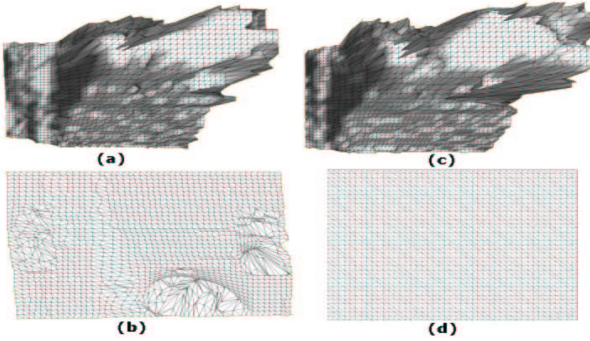


Figure 3 – Résultats obtenus à l'issue de la paramétrisation pour la séquence thabor (mouvement de translation latérale) : M_n (a), M_{n+1} (b), H_n (c), H_{n+1} (d)

4 Fusion des deux paramétrisations

La fusion des paramétrisations permet de créer une connectivité commune aux deux modèles en construisant un unique ensemble de sommets et d'arêtes à partir des sommets et des arêtes des deux paramétrisations.

Nos paramétrisations étant quelconque 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* tombant sur 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*.

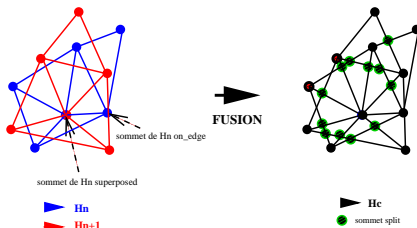


Figure 4 – Sommets singuliers

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.

Pour la recherche des intersections on se base sur l'algorithme de Kent [7] en y ajoutant la gestion de tous les cas particuliers car l'algorithme de Kent suppose qu'il n'existe pas de sommets singuliers.

La problématique posée par les sommets singuliers est en fait due aux imprécisions des calculs lorsque l'on manipule des réels car ils peuvent donner lieu à des dédoublements de sommets si le calcul de l'intersection est imprécis.

On a alors identifié tous les cas particuliers possibles correspondant à des superpositions d'arêtes avec d'autres arêtes (ou parties d'arêtes) ou avec des sommets. On a ensuite intégré le traitement de tout ces cas particuliers à l'algorithme.

La figure 5 montre le résultat d'une fusion de paramétrisations.

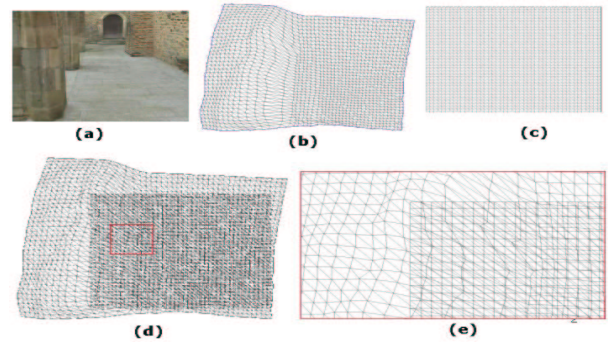


Figure 5 – Résultat de la fusion sur des paramétrisations pour la la séquence cloître (mouvement en profondeur): Image de la séquence (a) H_n (b) H_{n+1} (c) Fusion obtenue (d) et (e).

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 des correspondances issues des paramétrisations dans le même espace D.

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 :

- l'union de la connectivité fusion et de la géométrie n (représentée par F_n),
- l'union de la connectivité fusion et de la géométrie n+1 (représentée par F_{n+1}).

Afin de préparer l'interpolation et surtout de faciliter l'utilisation du maillage reconstruits on triangule le maillage obtenu par la fusion M_f par subdivisions successives des facettes non triangulaires.

Ensuite on applique les géométries correspondant aux maillages M_n et M_{n+1} à tous les sommets du maillage M_f afin de créer les maillages sources et cibles. Certains sommets ne possèdent pas d'information géométrique correspondant à M_n ou à M_{n+1} ou aux deux. Pour ces sommets on identifie la facette dans laquelle ils se trouvent et on estime leurs coordonnées barycentriques. Ces coordonnées barycentriques sont facilement calculables car H_{n+1} est un maillage régulier. Par contre dans le cas d'un sommets 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. 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 F_n et F_{n+1} et les images de texture par une interpolation entre les images de texture associées aux modèles morphés.

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 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).

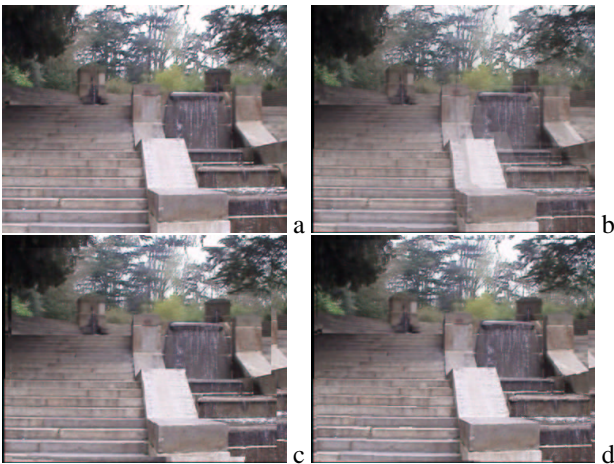


Figure 6 – (a) Image originale de la séquence escalier (b) Image reconstruite avec le fondu de textures, (c) avec morphing d'élévations et (d) avec le morphing 3D.

Dans le cadre de l'application de navigation libre le passage au 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.

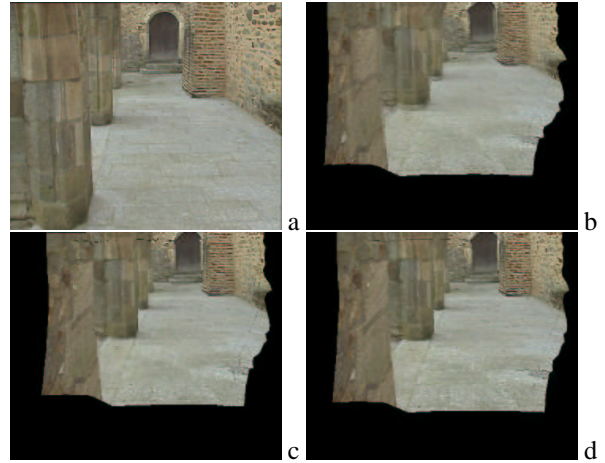


Figure 7 – (a) Image originale de la séquence (b) Image de navigation libre avec le fondu de textures, (c) avec morphing d'élévations et (d) avec le morphing 3D.

7 Conclusion

On a proposé dans cet article un vrai morphing tridimensionnel adapté à des données réelles en prenant en compte les 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 du 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 plus courbe.

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] Raphaele 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.