Mosaïque de peintures sur cylindres généralisés uniformes à axe droit

William PUECH(1), Adrian BORŞ(2), Jean-Marc CHASSERY(1) et Ioannis PITAS(2)

(1)Equipe Infodis, TIMC-IMAG, UMR CNRS 5525,
IAB, 38706 La Tronche, France
William.Puech@imag.fr, Jean-Marc.Chassery@imag.fr

(2) Department of Informatics, Université de Thessalonique,
Box 451, 54006 Thessalonique, Grèce
adrian@zeus.csd.auth.gr, pitas@zeus.csd.auth.gr

Résumé

Le problème traité concerne la reconstruction de scènes présentes sur des supports modélisés par des cylindres généralisés uniformes à axe droit. Pour cela il est nécessaire de localiser les vues, de les reprojeter afin d'obtenir des images redressées. Nous effectuons alors une mosaïque d'images reconstituant la scène complète. L'originalité du travail est son application aux peintures sur voûte ou sur colonne considérées comme étant des cylindres généralisés uniformes à axe droit. Ces travaux, effectués en vision monoculaire, utilisent des connaissances a priori sur les surfaces étudiées. Les résultats nouveaux sont la localisation à partir d'une seule vue et la mise en correspondance automatique dans l'algorithme de mosaïque.

Abstract

This paper is about a new approach for reconstructing scene mapped or painted on straight uniform generalised cylinder. In the case of monocular vision, by using a priori knowledge about geometry of the surface and projected cross-section in the image, first we locate the views and we backproject them in order to obtain flattened pictures. Next, we apply a method of images mosaicing in order to perform the entire scene. This work will be applied for works of art restoration when having a mural painting on a vault or a scene around a column. The new results are the localization in monocular vision and the automatic block matching in the mosaicing algorithm.

1 Introduction

Cet article présente une nouvelle approche pour reconstruire des scènes de peintures présentes sur des supports modélisés par des cylindres généralisés uniformes à axe droit. Plusieurs images sont prises de différents points de vue dans le but d'effectuer une mosaïque d'images et de représenter la scène complète sans distorsion due à la projection perspective et à la courbure de la surface.

Ces travaux seront principalement appliqués à la reconstruction de peintures sur voûtes ou sur colonnes considérées comme étant de la famille des cylindres généralisés uniformes à axe droit [Shafer 85].

En utilisant des connaissances a priori sur la géométrie de ces surfaces, nous montrons, pour chaque image, comment localiser le repère de la surface dans le repère de la caméra. Pour obtenir ces paramètres de localisation, nous cherchons la projection de l'axe du cylindre dans le plan de l'image [Ponce 89, Glachet 91, Puech 95]. A partir de projections de sections du cylindre, nous cherchons alors un deuxième axe dans l'image pour obtenir les paramètres de localisation [Puech 96b]. Nous développons une méthode automatique de reconstruction par mosaïque réalisée sur les images redressées [Borş 97]. Cette méthode est basée sur un algorithme de mise en correspondance [Netravali 88] et de calcul de distance [Jaillon 94].

Une méthode fondée sur un algorithme génétique pour visualiser des scènes issues de surfaces courbes est décrite [Tanahashi 95]. Ces résultats seront utilisés pour des représentations ou des restaurations de peintures [Chassery 93].

Dans la Section 2, nous présentons une classe des cylindres généralisés utilisés dans nos travaux. A partir de projections de sections dans le plan image, nous montrons dans la Section 3, comment obtenir les paramètres de localisation pour chaque image. Dans la Section 4, nous développons la méthode automatique de reconstruction par mosaïque réalisée sur les images redressées. Nous pouvons alors en Section 5 plaquer la scène complète pour obtenir de nouvelles visualisations. Nous illustrerons notre méthode en Section 6 sur un exemple de peinture murale sur voûte.

2 Cylindres généralisés

Le concept des cylindres généralisés et structurés sous forme de classes a été largement décrit par [Shafer 85]. Ces définitions, très utilisées, ont été développées en vision par ordinateur [Ponce 89, Ulupinar 95].

Un cylindre généralisé, représenté en Figure 1, est défini par un axe, un plan support des sections, une courbe plane appelée section et une règle de transformation lorsque les sections parcourent l'axe.

Dans nos travaux, l'axe du cylindre sera une droite, et, de plus, cet axe sera normal aux plans des sections. Comme les sections seront identiques le long de l'axe, nous utiliserons des cylindres généralisés uniformes à axe droit, notés C.G.U.D.. Les sections seront soient circulaires dans le cas de colonnes, soient ouvertes dans le cas de voûtes (arc, portion d'ellipse ou parabole).

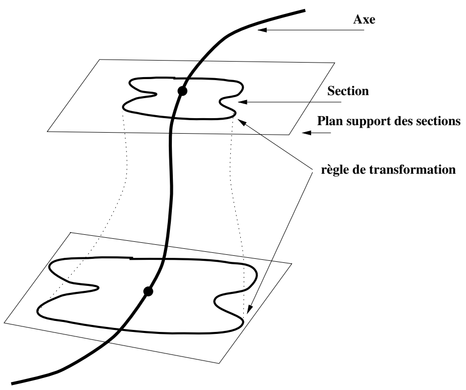

Figure 1: Représentation d'un cylindre généralisé par un axe, un plan support des sections et une courbe plane appelée section.

3 Localisation monoculaire

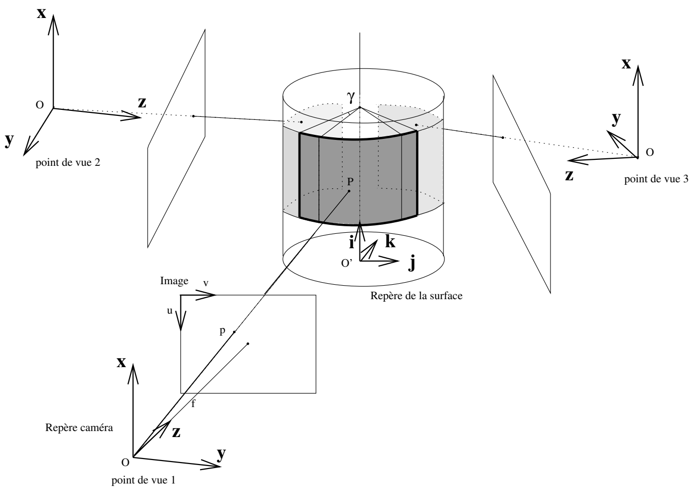

Figure 2: Images prises en différents points de vue autour d'une surface cylindrique.

La localisation est faite séparément pour chacune des vues représentées sur la Figure 2. En utilisant des connaissances a priori sur la géométrie des C.G.U.D. définis dans la Section 2, il est possible de détecter la projection de l'axe et des symétries permettant de localiser la surface dans le repère caméra [Ponce 89, Glachet 91].

Dans notre méthode, nous détectons, dans chaque image, des courbes qui sont la projection de sections de la surface [Puech 95]. Ces projections peuvent être assimilées au niveau de la scène à des droites parallèles, qui de par le principe de la formation des images se traduisent sous la forme de courbes dans le plan image. Nous déduisons alors sur l'image la projection de l'axe [Puech 96b, Puech 97]. Dans le repère de l'image, l'équation de cet axe est :

$$v = A_1.u + B_1, \tag{1}$$

où A_1 et B_1 sont les coefficients de la droite supportant cet axe. A partir de la Figure 3, nous avons détecté deux courbes representées Figure 4 pour obtenir l'équation de la projection de l'axe dans le plan image.

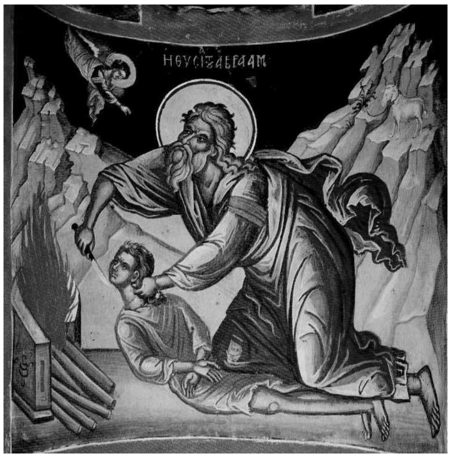

Figure 3: Exemple de peinture sur voûte.

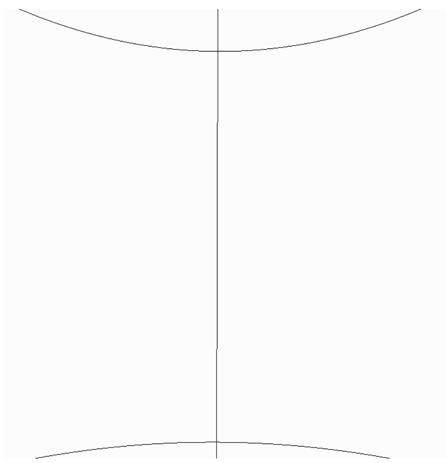

Figure 4: Calcul de la projection de l'axe à partir de la détection de deux courbes dans l'image de la Figure 3.

Nous pouvons ensuite calculer un deuxième axe et déterminer la localisation du C.G.U.D. dans le repère de la caméra. Ce deuxième axe correspond à l'intersection du plan support d'une section passant par le point de vue avec le plan image. L'équation de cet axe est :

$$v = -\frac{1}{A_1}.u + \left(v'_0 + \frac{u'_0}{A_1}\right), \tag{2}$$

où (u'_0, v'_0) sont les coordonnées du point intersection des deux axes, et A_1 le coefficient directeur de la droite support de l'axe du cylindre.

La localisation est obtenue par trois angles de rotation, déduits des équations (1) et (2). Ces trois angles de rotation mettent en correspondance les axes du repère du C.G.U.D. avec ceux de la caméra.

A partir de cette localisation, nous pouvons reprojeter les images sur la surface d'un C.G.U.D., puis redresser les portions de surfaces pour obtenir de nouvelles images sans distorsion due à la projection perspective et à la courbure de la surface [Gümüştekin 96].

4 Reconstruction de peintures par mosaïque

Les approches classiques pour effectuer des mosaïques nécessitent de sélectionner des points sur les images avant de faire la mise en correspondance [Billinge 93]. Dans cette étude, nous proposons une technique permettant de visualiser une scène complète située sur un C.G.U.D. représenté Figure 2. Après avoir redressé les parties de surface correspondant aux images, nous cherchons les parties communes d'images voisines notées p et $p-1$. La méthode de mise en correspondance est identique à l'algorithme de mise en correspondance de blocs utilisé pour estimer un mouvement [Netravali 88]. Nous définissons une zone de recherche commune aux deux images dans le plan de l'image (u, v). La partie à superposer est déterminée pour la meilleure mise en correspondance entre les deux zones :

$$(du, dv) = \arg \min_{k=1,l=1}^{S_u,S_v} \Big(\sum_{i=2n-k}^{2n} \sum_{j=l}^{2m-2d} |\mathrm{pel}_p(i-2n+k, j-l) - \mathrm{pel}_{p-1}(i,j)|, \sum_{i=2n-k}^{2n} \sum_{j=l}^{2m-2d} |pel_p(i-2n+k, j) - pel_{p-1}(i, j-l)| \Big), \tag{3}$$

où $\mathrm{pel}_p(i,j)$ et $\mathrm{pel}_{p-1}(i,j)$ sont les niveaux de gris de pixels de deux images successives $p-1$ et p, $(2m-2d) \times 2n$ est la taille des images et (du, dv) est le déplacement entre les deux images représenté sur la Figure 5.

La valeur de chaque pixel (i, j) est calculée en fonction de sa distance minimale avec les bords de la partie commune aux deux images [Jaillon 94] :

$$g_{p-1} = \min\{i, j\}\ ,\ g_p = \min\{du - i, dv - j\}, \tag{4}$$

pour $du > 0$, $dv > 0$, $i = 1, \ldots, du$ et $j = 1, \ldots, dv$.

Le niveau de gris d'un pixel est donné par :

$$pel = \frac{g_{p-1}}{g_p + g_{p-1}}\, pel_{p-1} + \frac{g_p}{g_p + g_{p-1}}\, pel_p, \tag{5}$$

où pel_p et pel_{p-1} sont les deux points correspondants aux images, respectivement p et $p-1$ [Puech 96a].

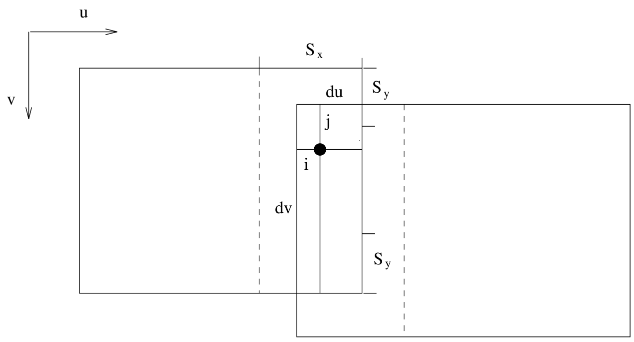

Figure 5: *Mise en correspondance entre deux images ayant une partie commune.*

5 Plaquage de la scène sur une nouvelle surface

A partir de l'image représentant la scène complète obtenue avec l'algorithme décrit en Section 4, nous pouvons plaquer cette scène sur une nouvelle surface. Considérons une surface cylindrique avec des sections circulaires uniformes, soient M la dimension horizontale de l'image représentant la scène complète et P_k, $k \in \{1, \ldots, M\}$ les pixels situés sur une section horizontale du cylindre. Si Δ est la distance entre deux pixels consécutifs, Δ doit rester constante. Prenons le pas égal à Δ sur le cylindre défini par :

$$\Delta = \frac{1}{2\pi R}, \tag{6}$$

où R est le rayon du cylindre.

Nous obtenons les coordonnées y_k et z_k pour chaque point P_k. En coordonnées paramétriques nous avons :

$$\left\{ \begin{array}{lcl} y_k & = & R\cos(2\pi\Delta k) \\ z_k & = & R\sin(2\pi\Delta k) \end{array} \right., \tag{7}$$

où Δ est le pas défini par (6) et $k \in \{1, \ldots, M\}$.

Pour éviter une superposition aux extrémités de l'image, le rayon R du cylindre doit remplir cette condition :

$$R > \frac{2M}{\pi}, \tag{8}$$

où M est la dimension horizontale de l'image.

6 Résultats expérimentaux

Les Figures 6 (a) et (b) représentent les parties gauche et droite d'une peinture Byzantine sur une voûte d'église. La surface, support de cette peinture sera considérée comme un C.G.U.D., les sections seront des portions d'ellipses. Les images de cette peinture murale présentent des distorsions dues à la courbure des sections, et à l'angle de vue. Les Figures 6 (c) et (d) illustrent la détection de courbes permettant d'obtenir l'orientation de la projection de l'axe du C.G.U.D. dans le plan image. Après localisation et projection inverse des images sur la surface courbe, nous avons redressé les deux images. Nous obtenons alors les résultats des Figures 6 (e) et (f).

L'algorithme proposé, basé sur la mise en correspondance, est utilisé pour obtenir une mosaïque de la scène à partir des images redressées. Nous obtenons alors la scène complète représentée en Figure 7.

7 Conclusion

Dans ces travaux, nous avons développé une nouvelle approche pour représenter une scène peinte ou plaquée sur un C.G.U.D.. Nous décrivons la méthode en localisant la surface pour chacune des vues à partir de projections de sections sur le plan image. Nous reprojetons ensuite ces vues sur le C.G.U.D. afin d'obtenir les parties de scène redressées sans distorsion. Nous appliquons alors un algorithme de mise en correspondance dans le but d'estimer les déplacements entre chaque image redressée. Cette étude est appliquée à la visualisation de peintures sur voûtes ou colonnes. La mosaïque d'images peut être ensuite utilisée pour la restauration ou la visualisation d'œuvres d'art.

Références

[Billinge 93] R. Billinge, J. Cupitt, N. Dessipiris, and D. Saunders. A Note on an Improved Procedure for the Rapid Assembly of Infrared Reflectogram Mosaics. *Studies in Conservation*, vol. 38, pp. 92–97, 1993.

[Borş 97] A. Borş, W. Puech, I. Pitas, and J.M. Chassery. Perspective Distortion Analysis for Mosaicing Images from Cylindrical Surfaces. *In Proc. International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, pp. 3049–3052, Munich, Germany, 1997.

[Chassery 93] J.M. Chassery. Image Processing And Analysis. A Challenge For Art Paintings. *In Proc. Art and Technology Workshop*, pp. 366–377, Athens, Greece, 1993.

[Glachet 91] R. Glachet, M. Dhome, and J.T. Lapresté. Finding the Perspective Projection of an Axis of Revolution. *Pattern Recognition Letters*, vol. 12, no. 11, pp. 693–700, Nov. 1991.

[Gümüştekin 96] Ş. Gümüştekin and R. W. Hall. Mosaic Image Generation on a Flattened Gaussian Sphere. *In Proc. 3rd. Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 50–55, Sarasota, Florida, USA, 1996.

[Jaillon 94] P. Jaillon and A. Montanvert. Image Mosaicking Applied On 3D Surfaces. *In Proc. 12th. International Conference on Pattern Recognition*, vol. I, pp. 253–257, Jerusalem, Israel, 1994.

[Netravali 88] A. N. Netravali and B. G. Haskell. *Digital Pictures, Representation and Compression.* Plenum Press, 1988.

[Ponce 89] J. Ponce, D. Chelberg, and W. Mann. Invariant Properties of Straight Homogeneous Generalized Cylinders and their Contours. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 11, no. 9, pp. 951–966, Sep. 1989.

[Puech 95] W. Puech and J.M. Chassery. Détection d'Axe sur Surfaces Courbes en Vision Monoculaire. *In Proc. 15th. Colloque GRETSI*, vol. 2, pp. 877–880, Juan Les Pins, France, 1995.

[Puech 96a] W. Puech, A. G. Borş, I. Pitas, and J.M. Chassery. Mosaicing of Painting on Curved Surfaces. *In Proc. 3rd. Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 44–49, Sarasota, Florida, USA, 1996.

[Puech 96b] W. Puech and J.M. Chassery. Curved Surface Reconstruction Using Monocular Vision. *8th. European Signal Processing Conference*, vol. 1, pp. 9–12, Trieste, Italy, 1996.

[Puech 97] W. Puech, J.M. Chassery, and I. Pitas. Cylindrical Surface Localization in Monocular Vision. *Pattern Recognition Letters*, 1997. In press.

[Shafer 85] S.A. Shafer. *Shadows and Silhouettes in Computer Vision.* Kluver, Boston, Boston, 1985.

[Tanahashi 95] H. Tanahashi, K. Sakaue, and K. Yamamoto. Recovering Decorative Patterns of Ceramics Objects from Monocular Image Using a Genetic Algorithm. *In Proc. 3rd. International Conference on Document Analysis and Recognition*, vol. I, pp. 339–342, Montréal, Canada, 1995.

[Ulupinar 95] F. Ulupinar and R. Nevatia. Shape from Contour: Straight Homogeneous Generalized Cylinders and Constant Cross Section Generalized Cylinders. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 17, no. 2, pp. 120–135, Feb. 1995.

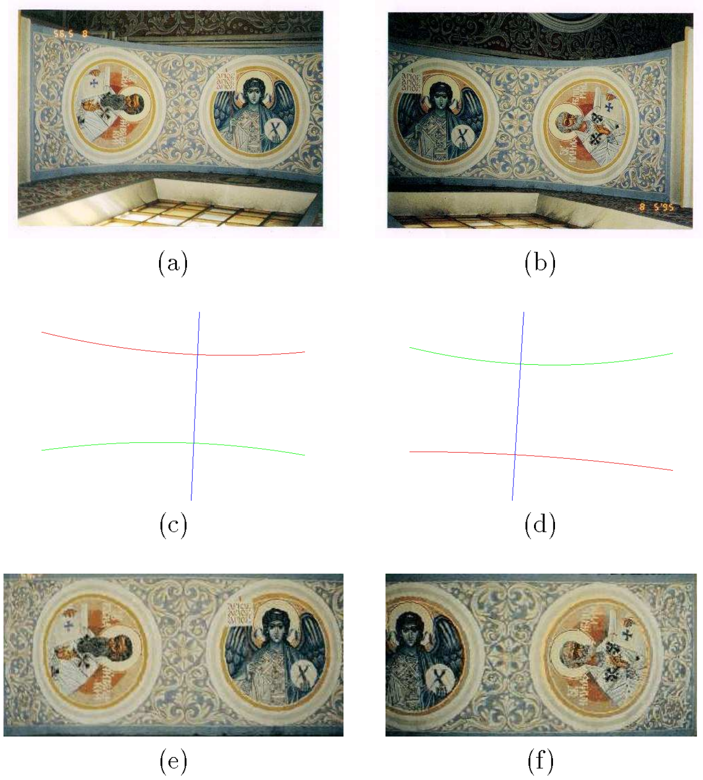

Figure 6: Parties gauche (a) et droite (b) d'une peinture Byzantine sur voûte, (c), (d) Localisation de la projection de l 'axe du C.G.U.D. à partir de deux courbes détectées dans l'image, (e), (f) Représentation des deux vues après localisation et redressement des surfaces.

Figure 7: Reconstruction de la scène par mosaïque.