

Détection d'axe sur surfaces courbes en vision monoculaire

William PUECH et Jean-Marc CHASSERY

Equipe Infodis - Laboratoire TIMC-IMAG, URA CNRS D 1618,
Institut Albert Bonniot, Domaine de la Merci, 38706 LA TRONCHE Cedex France,
William.Puech@imag.fr, Jean-Marc.Chassery@imag.fr

En vision monoculaire, il est nécessaire d'avoir des connaissances a priori pour reconstruire une scène 3D. La méthode présentée dans cet article sera appliquée pour reconstruire des surfaces 3D ayant une courbure non nulle selon une seule direction. L'objectif final recherché est d'obtenir un modèle 3D sur lequel est représenté une scène. Nous pouvons alors en déduire une représentation sans distortions dues à la géométrie projective. Dans cet article, nous montrons comment localiser une image sur une surface 3D de manière à la reprojeter dans l'espace. La détermination d'un axe sur l'image nous permet de déduire 2 des 6 paramètres externes nécessaires à la projection.

In monocular vision, it's necessary to have a priori knowledge to realise 3D reconstruction. In this paper the method will be applied to reconstruct a 3D surface with curvature in only one direction. The final aim consists to obtain a 3D model on which a scene is represented. We can then deduce a representation without any distortions due to the projective geometry. In this work, we show how to locate an image on a 3D surface and to project it in the space. Six external parameters are necessary to project an image on a 3D surface. With the determination of an axis on the image we can deduce 2 of 6 external parameters.

1 INTRODUCTION

L'interprétation d'une image issue d'un capteur consiste principalement à reconstruire l'univers tridimensionnel observé. En général cet univers tridimensionnel est composé d'une scène comprenant des objets de surfaces complexes. Dans notre cas, nous étudierons des scènes composées d'une surface 3D avec une courbure non nulle selon une seule direction, surface sur laquelle est plaquée une scène quelconque (peintures, images).

D'un point de vue mathématique, il s'agit donc de résoudre un problème inverse, c'est-à-dire d'estimer et de reconstruire la géométrie de surfaces 3D (fig. 1). En vision monoculaire, reconstruire une surface 3D et déduire sa position spatiale est un objectif nécessitant des connaissances a priori. Nous approfondirons donc des méthodes intégrant des informations géométriques associées aux formes présentes dans la scène 3D (droites, distances, angles). L'intérêt de ces informations géométriques est de réduire le nombre de paramètres nécessaires à la projection correcte d'une image dans l'espace 3D.

Actuellement, en supposant connue l'équation de la surface 3D sur laquelle une scène est représentée, nous sommes capables de déduire la situation spatiale sur la surface courbe d'une image 2D qui est la projection perspective de la scène grâce à la détection d'un axe.

Nous recalons donc l'information de l'image sur la surface 3D. Les résultats de ces travaux seront appliqués principalement au domaine des œuvres d'art comme les peintures sur voûtes ou les fresques sur piliers. La création de bibliothèques informatiques d'œuvres d'art trouve un réel intérêt dans ces travaux permettant le stockage et la visualisation de peintures sans distortions dues à la géométrie projective. Ces travaux peuvent aussi être utilisés pour des contrôles dimensionnels de défauts ou dans des interprétations de scène.

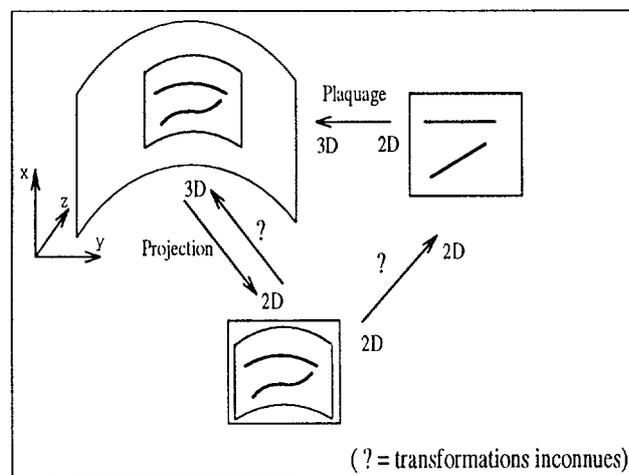


FIG. 1 - Plaquage d'une image sur une surface 3D suivi d'une projection perspective.

Des travaux similaires ont déjà été effectués dans le domaine de la vision monoculaire. Des travaux concernant l'interprétation d'ensembles de points ou de contours rectilignes nous montrent que des points d'inflexion de courbes gauches ou planes peuvent servir de support à l'interprétation de la projection perspective de ces courbes [Richetin 87]. En utilisant des appariements entre des contours elliptiques de l'image et les frontières circulaires d'un modèle, M. Dhôme nous montre qu'il est possible de déterminer l'attitude spatiale d'objets comportant ces frontières circulaires [Dhôme 88]. La notion de birapport a aussi été exploitée en projection perspective, elle permet d'émettre des hypothèses de mise en correspondance [Quan 88]. En utilisant des propriétés différentielles, il est possible de recalculer une courbe sur une surface



définie explicitement en considérant des points homologues entre la courbe et la surface, il faut alors résoudre une équation algébrique d'ordre seize [Gourdon 94].

2 LA MÉTHODE

2.1 Construction d'une scène

Dans un premier temps, nous recréons en totalité l'image projection de manière à maîtriser tous les paramètres du problème. Cette construction consiste à plaquer une image utilisée comme scène sur la surface courbe et à effectuer ensuite une projection perspective.

2.1.1 Création d'un modèle 3D

Dans notre cas, les surfaces courbes seront approximées par des fonctions du type $z = a_0 + a_1y + a_2y^2$.

Nous voulons obtenir un modèle 3D avec des niveaux de gris provenant de l'image originale. Pour plaquer une image sur la surface 3D, il faut choisir l'attitude dans l'espace d'un point ou d'une colonne de l'image, il en découle le calcul de l'attitude des autres points (fig. 2).

Soit un point a de coordonnées (u_1, v_1) sur l'image ayant pour niveau de gris $G_{u_1v_1} = G(u_1, v_1)$. Dans l'espace, son correspondant A a pour coordonnées $(x_1, y_1, z_1, G(u_1, v_1))$. Si f est la fonction définissant l'équation de la surface alors $z_1 = f(y_1)$. Le point voisin sur la surface aura pour coordonnées $B(x_2, y_2, z_2, G_2)$. En imposant un maillage régulier dans l'espace il faudra que $x_2 = x_1, y_2 = y_1 + 1$ et $z_2 = f(y_2)$.

Nous calculons le niveau de gris du point B . La distance entre A et B est alors égale à : $D_{AB} = \sqrt{(z_2 - z_1)^2 + 1}$. Donc dans l'image le correspondant de B a pour coordonnées $b(u_2, v_2)$ avec $u_2 = u_1$ et $v_2 = v_1 + D_{AB}$. D_{AB} étant réel, G_2 sera fonction du niveau de gris de ses 2 plus proches voisins. Si Int_{AB} désigne la partie entière de D_{AB} alors, $Res_{AB} = D_{AB} - Int_{AB}$, $Res_{AB} \in \mathbb{R}$.

Nous aurons alors pour G_2 :
 $G_2 = (1 - Res_{AB}) \times G(u_1, v_1 + Int_{AB}) + (Res_{AB}) \times G(u_1, v_1 + Int_{AB} + 1)$.

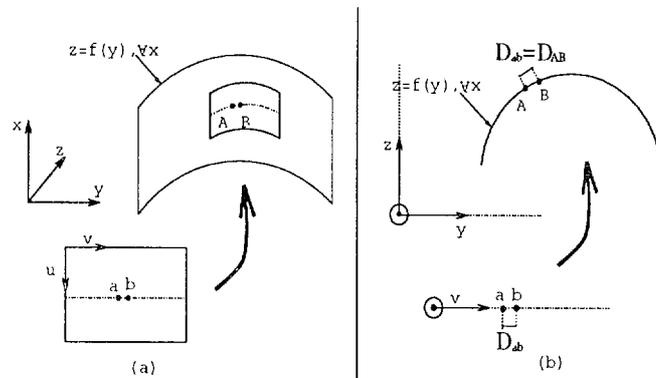


FIG. 2 - (a) Plaquage d'une image sur une surface 3D. (b) Vue de dessus.

2.1.2 Projection perspective

Nous allons visualiser ces points de l'espace à partir d'un point de vue en simulant le modèle d'une caméra à l'aide de

plusieurs transformations. Le produit de toutes ces transformations doit nous faire passer du repère de la surface 3D au repère image que nous noterons transformation surface 3D/image. Cette transformation se décompose en une transformation surface 3D/caméra, suivie d'une projection sur le plan image, puis d'une transformation caméra/image. La transformation surface 3D/caméra suivie de la projection transforme un point de l'espace (3D) en un point image (2D) alors que la transformation caméra/image fait passer d'un repère métrique lié à la caméra à un repère lié à l'image [Horaud 93].

Dans cette partie, nous avons reconstruit tous les éléments nécessaires à la résolution de notre problème.

2.2 Détection de l'axe

Une méthode permettant de détecter l'axe d'une surface courbe ayant une courbure non nulle selon une seule direction est exposée dans cette partie. Pour localiser cet axe nous utilisons des connaissances a priori : nous savons que dans l'image originale (image plate) il y a des droites ou des contours. Ces droites ou contours, après plaquage et projection, se sont transformés en courbes. Localiser ces courbes sur l'image revient à détecter les contours.

2.2.1 Détection avec des droites horizontales

Dans cette partie, les connaissances a priori porteront uniquement sur les contours horizontaux de l'image originale.

Après avoir détecté tous ces contours intéressants, il est nécessaire d'effectuer un lissage de ces contours. Nous allons approximer tous ces contours par des polynômes de degré 2. Le degré 2 du polynôme provient de la forme de la surface sur laquelle l'image est plaquée. L'équation de la surface est du type $z = a_0 + a_1y + a_2y^2$. Donc pour un x donné, une droite horizontale de l'image initiale sera plaquée sur la surface suivant la direction principale de la courbure et sera transformée en une courbe de degré 2.

A l'aide de calculs de dérivées et en utilisant des propriétés de convexité, pour chaque contour détecté, nous obtenons un point situé sur l'axe de la surface :

Soit, pour N contours détectés, nous obtenons N polynômes de la forme :

$$y_i(x) = a_{i0} + a_{i1}x + a_{i2}x^2, \quad i \in [1, N]$$

En calculant la dérivée de chacun de ces N polynômes, nous obtenons N extrémums correspondant à des points situés sur l'axe recherché. Nous avons donc :

$$\frac{dy_i(x)}{d(x)} = a_{i1} + 2a_{i2}x = 0, \quad i \in [1, N]$$

Nous obtenons N points avec $x_i = -\frac{a_{i1}}{2a_{i2}}$ et $y_i = y_i(x_i)$, $i \in [1, N]$.

Ces N points appartiennent à l'axe recherché, nous pouvons alors localiser l'axe de la surface et recalculer l'image en approxinant ces points par une droite.

2.2.2 Détection avec des droites de directions quelconques

Dans cette partie nous tiendrons compte uniquement des contours qui à l'origine étaient des droites de direction quelconque. Après plaquage de ces droites sur la surface courbe

nous aurons deux types de courbe :

- soit la courbe ne passe pas par l'axe. Dans ce cas nous pouvons approximer cette courbe par un polynôme de degré 2, mais la détection de l'axe n'est pas réalisable.
- soit la courbe passe par l'axe et nous pouvons approximer la courbe par un polynôme de degré 3.

Dans ce deuxième cas, c'est la dérivée seconde qui nous intéressera. Donc, pour N contours détectés, nous aurons après approximation N polynômes de la forme :

$$y_i(x) = a_{i0} + a_{i1}x + a_{i2}x^2 + a_{i3}x^3, \quad i \in [1, N]$$

En calculant la dérivée seconde pour chaque contour nous obtenons N points avec $x_i = -\frac{a_{i2}}{3a_{i3}}$ et $y_i = y_i(x_i)$, $i \in [1, N]$. Ensuite par la même méthode qu'en 2.2.1 nous obtenons l'équation donnant l'axe de la surface.

2.2.3 Interprétation de l'axe détecté sur l'image

Pour une surface convexe, l'axe détecté correspond aux points de la surface 3D les plus éloignés du centre de la caméra (fig 3). En effet, par projection perspective, plus les points de deux contours parallèles sont éloignés de la caméra, plus ces points seront proches sur l'image.

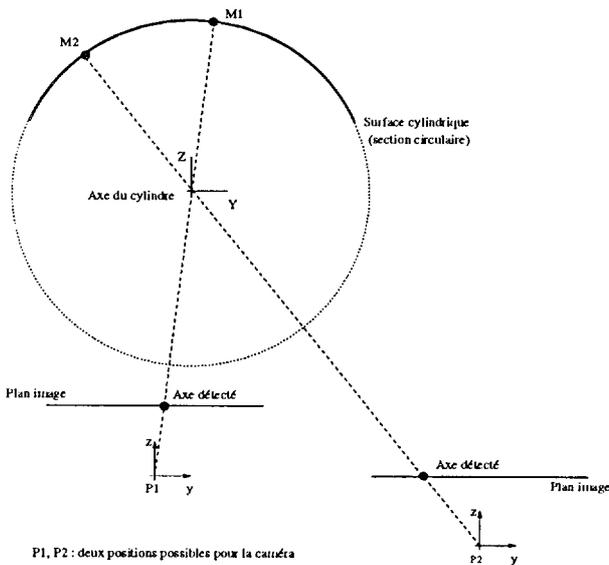


FIG. 3 - Localisation de l'image sur la surface en fonction de l'axe détecté

3 RESULTATS

3.1 Détection avec des droites horizontales

Dans la figure 4.a qui est la projection d'une image sur une surface courbe, nous avons pu détecter des contours qui, de par nos connaissances a priori étaient des droites horizontales dans l'image originale (fig. 4.b). Ces contours sont ensuite approximatés par les moindres carrés et avec l'aide de calculs de dérivées, nous détectons des points appartenant à l'axe de la surface courbe.

Avec un point par contour nous reconstituons l'axe qui est représenté sur la figure 4.c. L'approximation par une

droite de ces points nous donne les coefficients de l'axe ayant pour équation $y = -0.014631x + 302.891824$. Cet axe quasi-vertical a une variation de 9 pixels en y pour une image de taille 512 x 512. Sur la figure 4.d, nous avons superposé nos résultats et la figure 4.a.

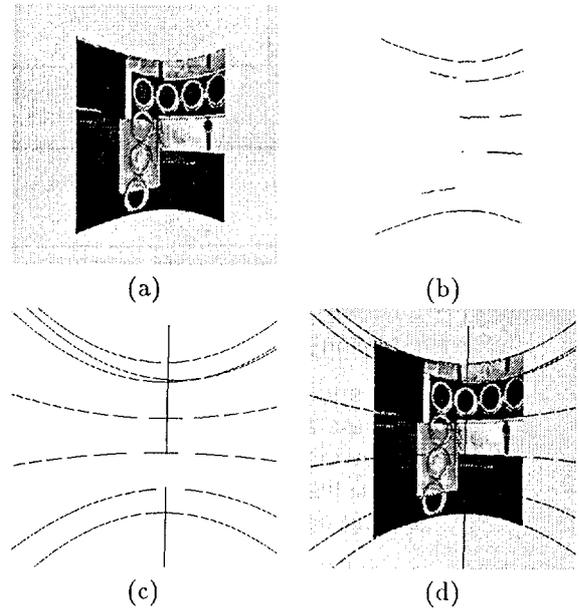


FIG. 4 - Détection de l'axe à partir d'une image avec contours horizontaux.

3.2 Détection avec des droites de directions quelconques

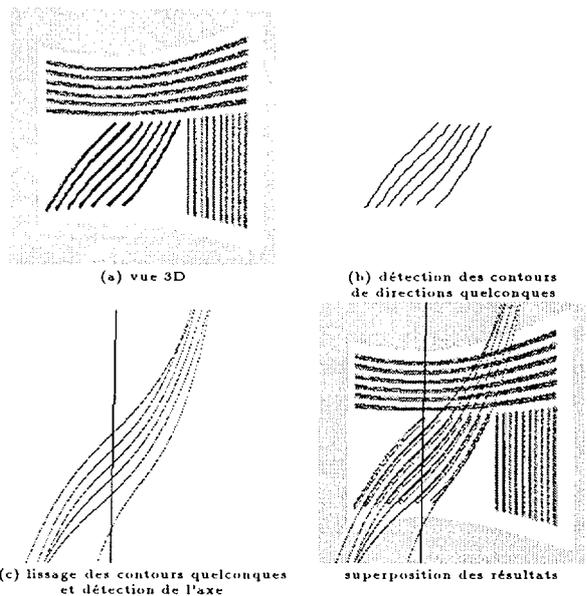


FIG. 5 - Détection de l'axe à partir d'une image avec contours quelconques

Sur l'image de la figure 5.a nous constatons que nous n'avons pas uniquement des contours "horizontaux" à détecter. En effet, dans la partie inférieure de l'image, nous avons des contours qui a priori étaient des droites de direction quelconque. Ces contours sont représentés figure 5.b. En approxi-



mant ces contours par des polynômes de degré 3 nous obtenons l'axe de la figure 5.c. Sur la figure 5.d nous voyons alors la superposition de nos résultats et de la figure 5.a.

3.3 Précision des résultats

Dans cette partie nous voulons démontrer la robustesse de la méthode, c'est à dire que la localisation de l'axe de la surface 3D varie très peu en fonction du choix des contours à détecter. A partir d'une vue 3D, nous avons détecté 5 contours que nous avons lissés comme précédemment (figure 6.b). Nous obtenons un axe ayant pour équation $y = -0.052632x + 98.473684$ ou en coordonnées polaires $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ (figure 6.a) avec $\rho = 96.396 \text{ pixels}$ et $\theta = 89.126^\circ$.

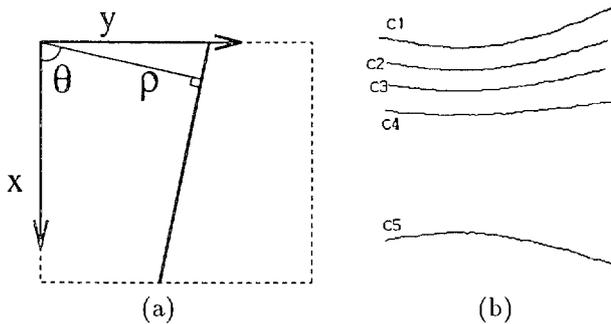


FIG. 6 - (a) Représentation en coordonnées polaires (b) Les 5 courbes lissées d'une vue 3D.

Nous avons, dans un premier temps, combiné les 5 contours 2 à 2, puis 3 à 3, et enfin 4 à 4. Dans le tableau suivant, nous pouvons comparer les variations des paramètres obtenus avec ces différentes combinaisons :

Contours	$\theta(\text{degr})$	$\rho(\text{pixel})$
moyenne des 2 contours	89.061	96.345
Etendue	3.013	3.338
moyenne des 3 contours	89.085	96.409
Etendue	1.562	2.088
moyenne avec 4 contours	89.068	96.461
Etendue	0.162	0.49
les 5 contours	89.126	96.396

Ces résultats sont très concluants quant au niveau de la robustesse de la méthode. En effet la variation la plus importante se retrouve quand les courbes sont combinées 2 à 2, l'étendue est de 3.013° pour θ et de 3.338 pixels pour ρ . Ces étendues diminuent nettement quand on combine les contours 3 à 3 et encore plus lorsqu'ils sont combinés 4 à 4. En comparant les moyennes et en y intégrant les valeurs initiales du résultat des 5 contours nous avons pour θ une étendue de 0.116° et une étendue de 0.065 pixels pour ρ .

Ces variations sont visualisées dans la figure 7. En effet nous voyons que l'écart d'angle le plus important se retrouve dans la figure 7.a où les courbes sont combinées 2 à 2. Dans la figure 7.d nous avons superposé tous les résultats des courbes combinées 2 à 2 avec l'axe trouvé en gardant les 5 courbes. Ces résultats devront être réexploités après le recalage de l'image sur la surface. En effet nous pourrions alors calculer les variations d'angle après le recalage et déterminer réellement si le choix des contours fait au départ a réellement peu d'importance.

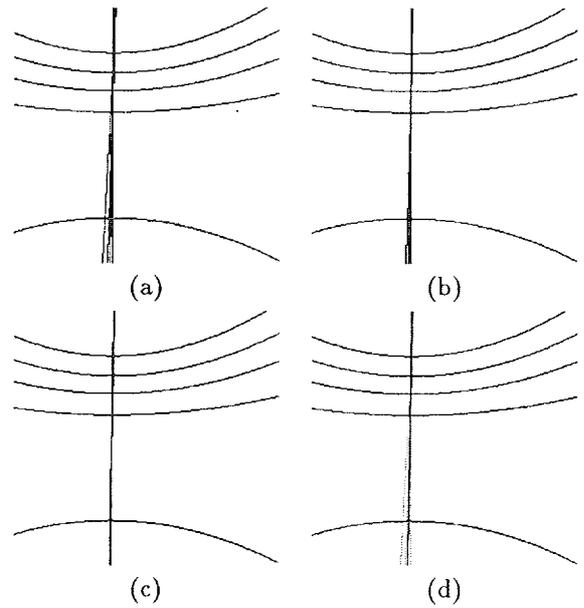


FIG. 7 - Résultats des courbes combinées (a) 2 par 2, (b) 3 par 3, (c) 4 par 4. (d) : superposition de (a) et de l'axe trouvé avec les 5 courbes.

4 CONCLUSIONS

Les avantages de cette méthode sont surtout sa robustesse dans la mise en œuvre et sa rapidité de détection, par contre cette méthode ne peut être utilisée si l'axe à détecter n'est pas vertical. En effet, si la caméra subit une rotation suivant son axe focal, les extrêmes détectés ne correspondront plus à l'axe cherché. Dans ce cas une méthode de calculs de normales entre les courbes sera plus intéressante [Puech 95]. Cette méthode ne nécessitera pas l'utilisation d'un repère et autorisera des rotations de la caméra suivant l'axe focal.

La détermination de l'axe par la méthode présentée permet d'avoir un repère fixe sur la courbe. Avec cette information supplémentaire nous recalons une image sur sa surface courbe 3D. Nous sommes donc en mesure de projeter cette image au moyen d'une projection perspective. Il suffit alors d'aplatir le modèle 3D avec l'information de l'image pour obtenir l'image originale non déformée.

Références

- [Dhome 88] M. Dhome, J.T. Lapresté, P. Reis, and G. Rives. Résolution du problème de la perspective inverse par l'étude des contours elliptiques. *TIPI*, pages II.1-II.12, 1988.
- [Gourdon 94] A. Gourdon and N. Ayache. Recalage d'une courbe sur une surface en utilisant des propriétés différentielles. *AFCECT*, 1994.
- [Horaud 93] R. Horaud and O. Monga. *Vision par Ordinateur*, chapitre 5, pages 131-136. Hermès, Paris, 1993.
- [Puech 95] W. Puech, P. Schott, and J.M. Chassery. Méthode discrète de calcul de normales communes pour la reconstruction de surfaces courbes. *DGCI*, 1995. Submitted.
- [Quan 88] L. Quan, R. Mohr, and E. Thirion. Utilisation d'invariants par perspective en vision monoculaire. *TIPI*, pages XXVII.1-XXVII.17, 1988.
- [Richetin 87] M. Richetin, M. Dhome, and J.T. Lapresté. Attitude spatiale des courbes vues en projection. *AFCECT*, pages 671-686, 1987.