

Approche hybride de reconstruction de facettes planes 3D

Ezzeddine ZAGROUBA

F. S.T, Dept. Informatique.
Lab. d'Informatique, Parallélisme et Productique.
Campus Universitaire. 1060 Tunis, Tunisie.
Ezzeddine.Zagrouba@fsm.rnu.tn

Zouhour BEN DHIAF

F. S.T, Dept. Informatique.
Lab. d'Informatique, Parallélisme et Productique.
Campus Universitaire. 1060 Tunis, Tunisie.
zouhour_bendhiaf@yahoo.fr

RÉSUMÉ. Dans ce papier, nous présentons d'abord une étude comparative de deux méthodes représentatives de deux classes d'approches de reconstruction 3D : les approches locales et les approches globales. La méthode locale implémentée génère par triangulation un nuage de points 3D à partir duquel nous construisons des facettes planes. Par contre la méthode globale implémentée se base sur des propriétés globales des régions appariées pour déterminer l'équation des plans support des facettes 3D. Le bilan comparatif réalisé nous a conduit à proposer une approche hybride de reconstruction de facettes planes 3D. Ainsi le système de reconstruction 3D réalisé intègre les méthodes locale et globale et une autre méthode intermédiaire en minimisant la moyenne des erreurs de reprojection et permet un recalage des frontières des régions appariées et rétablit enfin les jonctions entre les facettes reconstruites. Les expérimentations effectuées sur différents types de données 2D montrent l'apport de l'approche proposée du point de vue qualitatif et quantitatif.

ABSTRACT. In this paper we present firstevely a comparative study of two representative methodes of two classes of approachs : the local approach wich relies on a card of disparity from 2D points to loosen a cloud of 3D points by triangulation and the global approach wich operates by calculation of 3D primitives from matched regions. This comparaision allows us to propose an hybrid approach of reconstruction of 3D planes patches. Thus, the realised 3D reconstruction system integrates the local and global methods and an other intermediate method. This is done by minimising the mean of the reprojection errors and permets to move the regions boundaries and to rectify the junctions between reconstructed patches. We were able to prove through experiments on different type of 2D data the contribution of the proposed hybrid approach in the improvement of the reconstruction quality.

MOTS-CLÉS : Approche hybride, reconstruction 3D, facette plane, Stéréovision.

KEYWORDS: hybrid approach, 3D reconstruction, planar facets, stereovision.



1. Introduction

En stéréovision, plusieurs approches de reconstruction existent. Nous distinguons d'abord des approches globales, qui calculent des primitives 3D de haut niveau à partir de régions appariées et ceci en faisant une approximation par des modèles de surfaces planes [3,4,5] ou de surfaces de révolution, puis, des approches locales qui déterminent une carte de disparité à partir de points [3] et déterminent ensuite par triangulation le nuage de points 3D. Ce nuage est approximé par un modèle de surface plane [2,5] ou autre. Notons que la non disponibilité des données de calibrage impose des limites sur la qualité de la reconstruction [2].

La diversité des méthodes de reconstruction 3D exige une étude comparative de leurs performances. La suite du papier est organisée en trois sections : Une étude comparative des deux méthodes locale et globale, une présentation de l'approche hybride que nous proposons et une interprétation des résultats de nos expérimentations sur quelques scènes. Enfin, nous finissons par des conclusions et des perspectives de ce travail.

2. Etude comparative des deux méthodes locale et globale

Cette étude comparative nécessite l'introduction de chacune des deux méthodes ainsi que l'application de chacune d'elle sur un ensemble de paires d'images stéréoscopiques.

2.1. Méthode locale

Nous décrivons une facette 2D par l'ensemble des sommets décrivant la frontière de la région correspondante et nous associons ainsi à chaque couple de régions appariées (R_g, R_d) un couple de facettes 2D appariées (f_g, f_d) [4]. Une fois les matrices de paramètres extrinsèques (P_{1_cam}, P_{2_cam}) déterminées par calibrage faible [2], nous résolvons par la méthode des moindres carrés, pour chaque couple de points appariés, une équation linéaire de la forme $A\tilde{X}_i = 0$ (équation 1) :

$$\begin{cases} \tilde{x}_{ig} = P_{1_cam} \tilde{X}_i \\ \tilde{x}_{id} = P_{2_cam} \tilde{X}_i \end{cases} \Rightarrow (S) : \begin{bmatrix} P_3 x_{ig} - P_1 \\ P_3 y_{ig} - P_2 \\ P_3' x_{id} - P_1' \\ P_3' y_{id} - P_2' \end{bmatrix} \tilde{X}_i = 0 \quad (1)$$

avec : $P_{1_cam} = (P_1, P_2, P_3)^T$, $P_{2_cam} = (P_1', P_2', P_3')^T$ et $\tilde{X}_i = (X_i, Y_i, Z_i, 1)^T$ est le point 3D exprimé en coordonnées homogènes dans le repère du monde.





A chaque couple de facettes 2D appariées, nous associons une facette plane 3D dont les sommets sont obtenus par projection des points 3D obtenus par triangulation sur le plan 3D estimé par la méthode des moindres carrés. Nous obtenons un ensemble de facettes 3D qui représentent le résultat de la reconstruction 3D de la scène.

2.2. Méthode globale

Pour chaque couple de régions appariées (R_g, R_d) , nous calculons la transformation homographique g_d permettant de passer de R_g à R_d [5]. Cette transformation peut être exprimée uniquement en fonction des paramètres de calibrage et des moments d'ordre inférieur ou égale à deux de ce couple [4]. On exprime les moments d'ordre 2 centrés d'une région R $\eta_{ij} / (i+j)=2$ par une matrice symétrique (2×2) définie par l'équation 2 :

$$\eta = \frac{1}{\text{surface}(R)} \sum_{m \in R} (m - G_R)(m - G_R)^T = \begin{bmatrix} \eta_{00} & \eta_{11} \\ \eta_{11} & \eta_{02} \end{bmatrix} \quad (2)$$

avec G_R : centre de gravité de R

Partant d'un couple d'images rectifiées [1] et tenant compte de la contrainte planaire, on peut écrire l'équation de correspondance pixel-pixel entre deux points images appariées $m_g = (u_g, v_g)^T$ et $m_d = (x_d, y_d)^T$ comme suit (équation 3) :

$$\begin{pmatrix} u_g \\ v_g \end{pmatrix} = \tau_{gd} \begin{pmatrix} u_d \\ v_d \end{pmatrix} \quad \text{avec : } \tau_{gd} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{p_d}{c_d} t_x & -\frac{q_d}{c_d} t_x \\ c_d & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P' & -Q' \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

avec t_x : distance entre les centres optiques des deux caméras et (p_d, q_d, c_d) sont les paramètres du plan recherché dans le repère de la caméra droite.

Les équations de correspondance appliquées aux moments d'ordre deux des régions gauche et droite [4] fournissent les équations 4 :

$$\left(\eta_{20}(R_d) - \frac{(\eta_{11}(R_d))^2}{\eta_{02}(R_d)} \right) (P')^2 = \eta_{20}(R_g) - \frac{\eta_{11}(R_g)^2}{\eta_{02}(R_d)} \quad \text{et} \quad Q' = \frac{\eta_{11}(R_g)}{\eta_{02}(R_d)} + \frac{\eta_{11}(R_d)}{\eta_{02}(R_d)} P' \quad (4)$$

Le calcul du plan support de la facette 3D revient à exprimer (p_d, q_d, c_d) en fonction de P' , Q' et des coordonnées du point de référence (X_0, Y_0, Z_0) obtenu par triangulation des centres de gravités des 2 régions. Ainsi, il suffit de résoudre le système donné par l'équation 5 :

$$p_d = \frac{(1 - P')c_d}{t_x}, \quad q_d = \frac{Q'c_d}{t_x} \quad \text{et} \quad c_d = \frac{Z_0 t_x}{(1 - P')X_0 + Q'Y_0 + t_x} \quad (5)$$



2.3. Bilan comparatif

Afin de procéder à des comparaisons, nous avons procédé sur différents types de données (disponibles sur le serveur de l'INRIA) : scènes polyédriques à surface verticales (scènes : 1,2,4,6) ou à surfaces obliques (scène 5) et scènes non polyédrique (scènes : 3,6). Le tableau 1 illustre des mesures statistiques sur ces six scènes. La dernière colonne de ce tableau donne le nom de la méthode jugée meilleure pour chaque scène.

Scène	Moyenne (pixels)		Min (pixels)		Max (pixels)		Variance		Comparaison
	Lo	Gl	Lo	Gl	Lo	Gl	Lo	Gl	
Scène 1	0.23	0.44	0.16	0.04	0.27	1.39	0.00	0.17	locale
Scène 2	3.25	1.89	0.98	0.59	9.47	3.19	9.37	1.01	globale
Scène 3	2.15	0.93	0.01	0.02	6.64	3.90	2.50	0.73	globale
Scène 4	1.46	1.52	0.04	0.20	5.69	15.53	1.48	4.24	locale
Scène 5	6.76	1.34	0.43	0.07	24.31	3.19	35.73	0.73	global
Scène 6	1.24	1.25	0.00	0.02	10.80	9.20	2.50	1.64	équivalentes

Tableau 1 : Statistiques sur les erreurs de reprojection 2D

Nous résumons dans le tableau 2 les résultats comparatif des méthodes locale et globale appliquées sur les scènes étudiées. Il donne selon les caractéristiques des données 2D (détection des sommets 2D, type des objets de la scène et présence des faces cachées), la méthode jugée la plus favorable. Nous désignons par '+' : plus favorable, '-' moins favorable et par N le nombre de couples de sommets 2D initiales par facette.

Caractéristiques des données 2D Méthode conseillée	Qualité de détection des sommets 2D			Type des objets de la scène			Présence de faces cachées
	Bonne	Mauvaise		Polyédrique		non polyédrique	
		$3 \leq N \leq 6$	$N > 6$	Surfaces Verticales	Surfaces obliques		
locale	+ scène 1	- scène 2	- scène 2	+ scènes : 1,2,4,6	- scène 5	- scènes 3,6	+ scène 4
globale	+ scène 1	+ scène 2	+ scène 2	- scènes : 1,2,4,6	+ scène 5	+ scènes 3, 6	- scène 4

Tableau 2 : Résultats comparatif des méthodes locale et globale

surfaces cachées, la méthode locale est meilleure. De plus, selon le type des objets présents dans la scène, l'une ou l'autre des méthodes s'avère plus efficace.

3. Approche hybride proposée

Pour chaque facette 3D, la méthode de reconstruction retenue par l'approche hybride (Hy) est celle minimisant la moyenne des erreurs de reprojection 2D pour les trois méthodes : locale, globale et intermédiaire. Cette méthode intermédiaire se base sur le calcul d'un plan intermédiaire à partir des plans support issus des méthodes locale et globale. L'architecture globale de notre système de reconstruction de facettes planes 3D par intégration de méthodes est illustré par la figure 1.

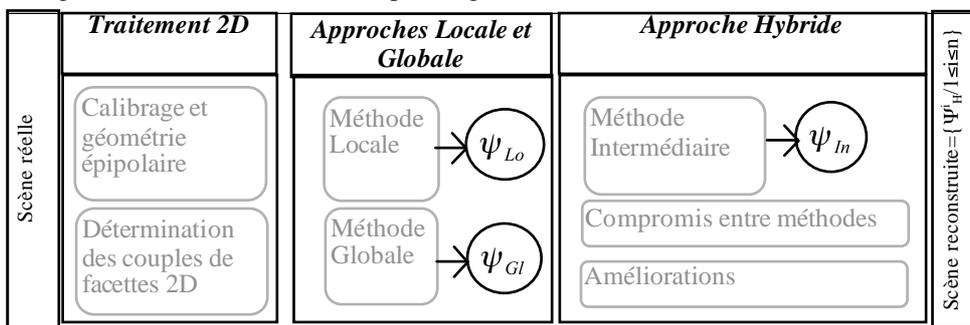


Figure 1 : Architecture globale du système de reconstruction proposé

Dans l'approche hybride, le choix entre les trois méthodes de reconstruction s'applique par facette. En effet, ceci est justifié par l'hypothèse planaire qui impose que les facettes soient planes et par conséquent que les N sommets de la même facette appartiennent au même plan.

De plus, nous avons envisagé quelques améliorations en effectuant un recalage 2D suivi d'une correction des jonctions entre facettes. Il s'agit d'abord de corriger quelques erreurs de détection en recalant les sommets 2D les moins fiables ce qui revient à recalculer les frontières des régions appariées afin d'apporter une meilleure précision de localisation dans le plan image (les régions appariées). Ensuite, il s'avère nécessaire de corriger les jonctions entre facettes adjacentes reconstruites en vue d'une meilleure visualisation 3D.

4. Expérimentations

Plusieurs expérimentations ont été menées pour comparer et évaluer les deux approches (locale et globale) de reconstruction des facettes 3D ainsi que pour montrer l'apport de notre approche hybride. Nous avons interprété les résultats d'expérimentations qualitativement et quantitativement.

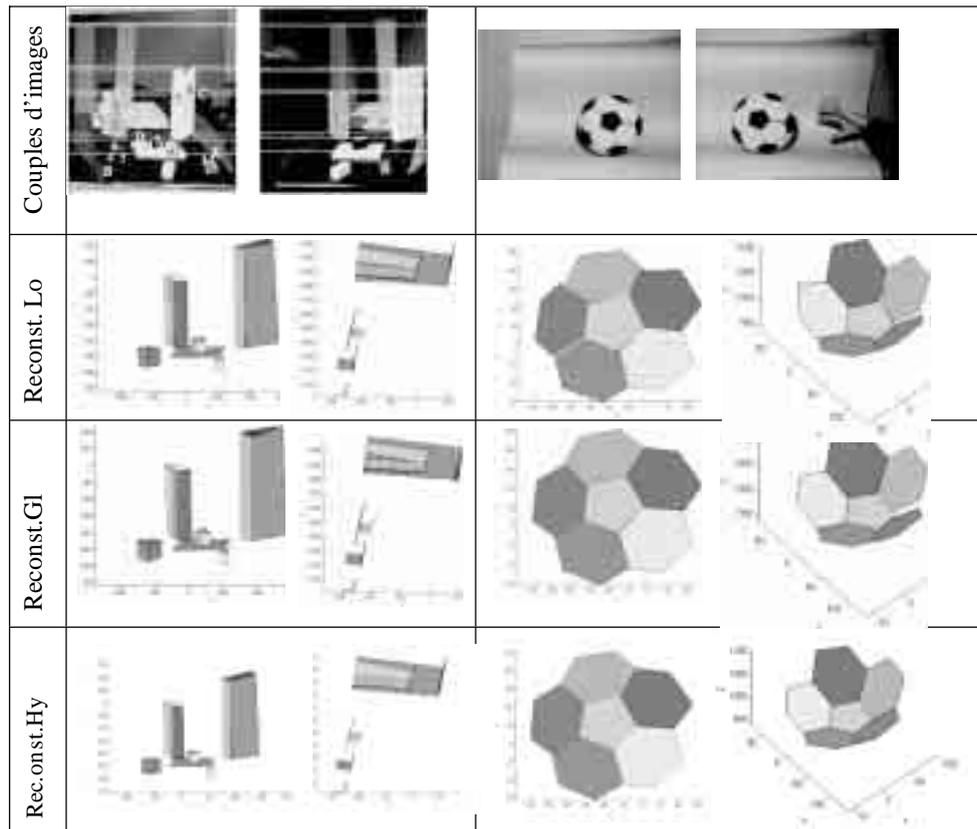


Figure 2 : Vues de reconstruction des scènes ballon et polyédrique par les méthodes locale, globale et hybride

Nos interprétations qualitatives se basent sur des vues significatives de scènes reconstruites afin de mettre en relief les différences entre les deux reconstructions au niveau des connections entre les facettes 3D et de la forme des objets reconstruits (figure 2). Les interprétations quantitatives se basent sur une estimation de deux types d'erreurs : erreurs



de reprojection dans le plan image (tableau 3, figure 3 (a), (b) et (c)) et erreurs sur les angles entre les facettes reconstruites (figure 4 (b)).

Scène	Moyenne (pixels)	Min (pixels)	Max (pixels)	Variance	G_H (%)
Scène 1	0.19	0.03	0.47	0.01	17,20%
Scène 2	1.79	0.86	3.52	0.87	5,74%
Scène 3	0.91	0.02	3.90	0.73	1,90%
Scène 4	1.22	0.04	4.57	1.17	16,80%
Scène 5	1.33	0.07	4.73	1.01	0,83%
Scène 6	1.00	0.00	7.94	1.21	19,17%

Tableau 3 : Statistiques sur les erreurs de reprojection relatives à l'approche hybride

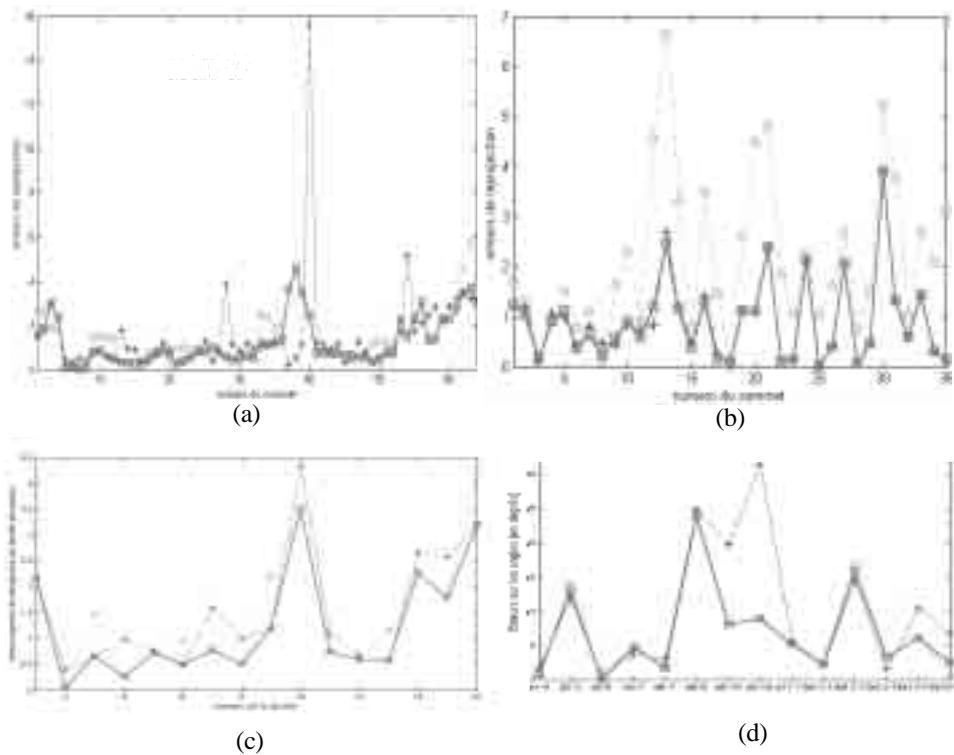


Figure 3 : Courbes d'erreurs : erreurs moyennes de reprojection des sommets de la scène 4 (a) et 3 (b), erreurs moyennes par facette (c) et erreurs sur quelques angles droits (d) de la scène 4.



Chacune des courbes de la figure 3 (a) et (b) présente des maxima et des minima locaux. En général, au delà des pics, les erreurs engendrées par les deux reconstructions locale et globale sont comparables. De plus, l'erreur moyenne minimale par facette est obtenue parfois par la méthode locale, et parfois par la méthode globale. Par contre, la méthode hybride donne toujours une moyenne d'erreur inférieure ou égale à celle donnée par la meilleure des méthodes locale et globale (figure 3 (c)).

5. Conclusions et perspectives

L'expérimentation faite sur les couples d'images stéréoscopiques étudiées confirme l'apport de notre processus de reconstruction en matière de précision et de conservation de la géométrie 3D de la scène réelle. L'intégration des deux méthodes a permis d'affiner le résultat de la reconstruction. Des nouveaux traitements appliqués sur les résultats de l'approche hybride après recalage permettent de palier à quelques disjonctions constatées au niveau des méthodes locale et globale appliquées séparément. Les résultats numériques montrent que l'approche hybride permet de baisser les erreurs de reprojection de manière significative (cette amélioration atteint un pourcentage de 19,17%) sans pour autant affecter les angles entre facettes adjacentes (voire les améliorer). Ceci renforce la validité des choix effectués lors de l'intégration.

Nous envisageons d'étendre cette approche de reconstruction à des scènes plus complexes et d'effectuer une reconstruction 3D à partir d'une séquence d'images ce qui permettra de visualiser la scène reconstruite sur plusieurs angles de vue.

6. Références

- [1] A.Fusiello, E.Truccho, et A.Verri. *A compact algorithm for rectification of stereo pairs*. Machine vision and application, 12(1):16-22, 2000.
- [2] Q-T.Luong, R.deriche, O.Faugeras, T.Papadopoulou. On Determining Fundamental Matrix : Analysis of Different Methods And Experimental Results. RR. N°1894. INRIA. Avril1993.
- [3] M.Ortner, X.Descombes et J.Zer. *Un nouveau modèle pour l'extraction de caricatures de bâtiments sur des modèles numériques d'élévation*. TAIMA'03. pp 213-218.
- [4] J-M.Vezien et J-P.Tarel. A Generic Approach for Planar Patches Stereo Reconstruction.RR N°2507.INRIA. Février 1995.
- [5] E.Zagrouba. *3-D Facets Constructor for Stereovision*. 5th International Conference on Artificial Intelligence. Rome, Italie, Septembre 1997. pp 116-126.