

Étalonnage et Reconstruction d'un objet tridimensionnelle

Osman Imen¹, Louhichi Hannene¹, Habib Ben Aissia¹, Thierry Fournel²

osman.imen@gmail.com

¹ Ecole Nationale d'Ingenieur de Monastir, Tunisie

² Laboratoire Hubert Curien de Saint-Etienne, France

RESUME

L'objectif de cette communication est de reconstruire un objet placé dans la profondeur du champ après auto-étalonnage de la tête stéréoscopique. Connaissant parfaitement les paramètres d'étalonnage, l'objet reconstruit coïncide parfaitement avec l'objet initial placé dans le plan d'étalonnage. L'étude réalisée par simulation montre l'influence de différents paramètres d'étalonnage sur la reconstruction d'un objet 3D, une étude expérimentale montre la performance de cette reconstruction.

NOMENCLATURE

f	Distance focale, (mm)	u_0 et v_0	Centre optique (mm)
d	Distance entre le plan objet et d'étalonnage (mm)	(x_i, y_i, z_i)	Point image (mm)
λ_i	Facteur d'échelle	(X_i, Y_i, Z_i)	Coordonnées du point de la mire (mm)
(u, v)	Coordonnées d'un point de l'image (pixels)	k_v	Facteur d'échelle suivant v
a_1, a_2, a_3	Coefficients des polynômes des distorsions radiales	k_u	Facteur d'échelle suivant u
α	Rotation suivant l'axe (I,X) (Degrès)	β	Rotation suivant l'axe (I,Y) (Degrès)
γ	Rotation suivant l'axe (I,Z) (Degrès)	T_x	Translation suivant X (mm)
T_y	Translation suivant Y (mm)	T_z	Translation suivant Z (mm)
p_1, p_2	Coefficients des polynômes des distorsions tangentiels	$d_{oxr}, d_{oxt}, d_{oyr}, d_{oyt}$	Distorsions radiales et tangentielles suivant x et y
Φ	Vecteurs de paramètres à estimer $P(\Phi)$	$Q(\Phi)$	Fonctions non linéaires de Φ
e_x	Erreur par rapport à x et y	CCD	Charged coupled device

1. INTRODUCTION

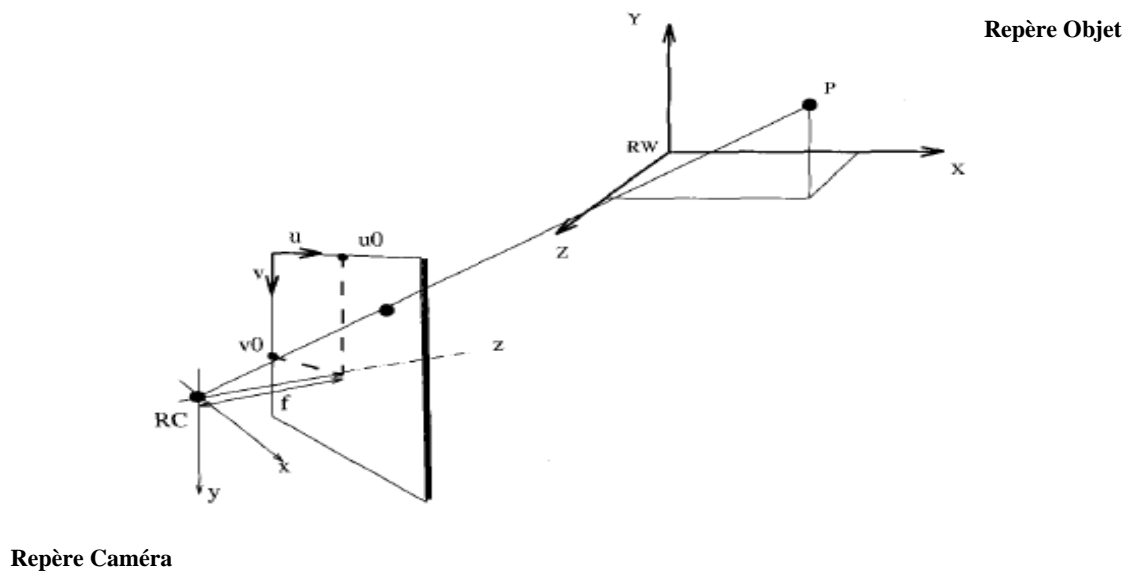
Le montage stéréoscopique est utilisé en stéréo Vélométrie par Image de Particule (SPIV) pour mesurer avec une grande précision, le champ de vitesse tridimensionnelle au sein d'un écoulement [1, 2].

Le calibrage est un processus couramment utilisé en robotique. Pour la PIV Stéréoscopique, c'est une étape indispensable lorsqu'on développe un système de vision stéréoscopique. La mise en œuvre de cette méthode a permis de soulever certains problèmes pratiques, quelque uns de ces problèmes ne sont d'ailleurs pas toujours abordés dans la littérature. Il est important de noter que l'étalonnage d'un ensemble camera n'est valable que pour une configuration donnée (ouverture, mise au point, position, ...) toutes modification nécessite un nouveau étalonnage. La reconstruction d'un champ de vitesse tridimensionnel par Stéréo Vélométrie par Images de Particules (ou SPIV: technique de chronophotographie) passe par cette phase préalable d'étalonnage du système par ajustement de faisceaux [3] afin d'éviter un positionnement précis de la mire.

La reconstruction, consiste à partir de l'image de reconstruire l'objet. En effet connaissant les coordonnées images et les paramètres de calibrage, on peut reconstruire l'objet, dans le cas où l'objet est plane, un seul point de vue est suffisant pour réaliser la reconstruction alors que dans le cas d'un objet tridimensionnel il nous faut deux points de vues c'est-à-dire deux caméras CCD.

Nous présentons dans cette communication, les résultats d'une simulation montrant la reconstruction d'un objet placé dans la profondeur de champ après auto-étalonnage de la tête stéréoscopique. Tout à bord on va donner une modélisation de la caméra. Puis on décrit notre méthode de reconstruction. Les résultats expérimentaux sont présentés à la fin de cette communication.

2. MODELISATION D'UNE CAMERA



Une caméra est modélisée à l'aide de ces paramètres intrinsèques telque la distance focale f , les coordonnées (u_0, v_0) de la projection du centre optique de la caméra sur le plan image et la taille de pixel (K_u, K_v) et ces paramètres extrinsèques qui peuvent varier suivant la position de la caméra dans l'espace de travail. Ces paramètres sont définies par la matrice de rotation et le vecteur de translation $T = (t_x, t_y \text{ et } t_z)$ qui permettent de passer du repère lié à l'espace de travail au repère lié à la caméra.

Le modèle de projection utilisé pour le processus de formation de l'image se réfère au modèle sténopé. la relation entre un point objet et sa projection dans l'image est donnée par l'expression suivante :

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = \lambda_i \left[R \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} + T \right] \quad (1)$$

Avec (x_i, y_i, z_i) est un point image défini dans le référentiel Caméra; λ_i est un facteur d'échelle introduit lors du passage de R^3 à R^2 et (X_i, Y_i, Z_i) sont les coordonnées du point de la mire définies dans le référentiel du monde XYZ.

L'approche photogrammétrique se distingue par la modélisation fine des phénomènes de distorsion optique provoquée à la surface des lentilles. Éliminant λ_i dans (1), nous obtenons les expressions suivantes appelées équations de colinéarité en photogrammétrie.

$$\begin{cases} u + e_x = u_0 + \frac{(do_{xr} + do_{xt})}{d_x} + \left(\frac{f}{d_x} \right) \frac{r_{11}X + r_{12}Y + r_{13}Z + T_x}{r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}Z + T_z} = P(\Phi) \\ v + e_y = v_0 + \frac{(do_{yr} + do_{yt})}{d_y} + \left(\frac{f}{d_y} \right) \frac{r_{21}X + r_{22}Y + r_{23}Z + T_y}{r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}Z + T_z} = Q(\Phi) \end{cases} \quad (2)$$

Où Φ est un vecteur définie par :

$$\Phi = [f_x, f_y, u_0, v_0, a_1, a_2, a_3, p_1, p_2, X, Y, Z, T_x, T_y, T_z, \alpha, \beta, \gamma]^T \quad (3)$$

Les erreurs e_x, e_y sont les résultats de la différence entre les positions de projection réelle et celle donnée par le modèle. Elles sont fonction de l'ensemble des constantes qui définissent la caméra utilisé. Nous utiliserons cette différence comme critère de minimisation de l'algorithme.

3. ETALONNAGE MULTI-VUES

Une des causes principales des mauvais résultats de calibrage provient des erreurs de mesure, pour affronter ce problème donc il est possible de combiner dans un même système plusieurs images provenant de la même caméra mais pour des positions spatiales (rotation et/ou translation) différentes. Alors les paramètres intrinsèques de capteur sont les mêmes pour toutes les images et le calibrage estime le vecteur de paramètres et le calibrage estime le vecteur de paramètres suivant :

$$\Phi_{9+6m} = [u_0, v_0, a_1, a_2, a_3, p_1, p_2, f_x, f_y, T_x^1, T_y^1, T_z^1, \alpha^1, \beta^1, \gamma^1, T_x^m, T_y^m, T_z^m, \alpha^m, \beta^m, \gamma^m]^T \quad (4)$$

Où m est le nombre d'images et n le nombre de points par image, le nombre total d'équations est $(2mn)$ et le nombre total de paramètres est $(9+6m)$.

La redondance r est donnée par $r = 2mn - 9 - 6m$, l'approche multi-image, d'un point de vue expérimental, conduit à des résultats de qualité et permet d'assurer une grande reproductibilité de l'estimation des paramètres internes du capteur.

4. METHODES DE RESOLUTION

Soit les fonctions d'erreurs:

$$\begin{cases} e_x = P(\Phi) - u \\ e_y = Q(\Phi) - v \end{cases} \quad (5)$$

La résolution de ce modèle au sens des moindres carrées, consiste à minimiser

$$S = \sum_{i=1}^n (e_{x_i}^2 + e_{y_i}^2) \quad (6)$$

$P(\Phi)$ et $Q(\Phi)$ sont des fonctions non linéaire de Φ , la minimisation est donc un problème d'optimisation non linéaire.

La forme matricielle du système de $2n$ équations linéaire est donnée

$$V(\Phi) = V(\Phi_0) - \sum_{i=1}^{15} \frac{\partial V}{\partial \phi_i} \Delta \Phi_i \quad (7)$$

$V = L - A \Delta \Phi$ ou L représente donc la valeur courante du critère et A la matrice jacobienne du système, autour du vecteur courant Φ_0 .

5. RECONSTRUCTION DANS LE PLAN D'ÉTALONNAGE

La reconstruction d'un objet tridimensionnelle placé dans le plan d'étalonnage est possible grâce au paramètres du modèle obtenue après étalonnage de la camera. Cette reconstruction consiste à partir de l'image et de paramètres du modèle de remonter à l'objet initial.

On suppose que l'image est sans distorsion, le modèle mathématique qui décrit cette reconstruction est donnée par l'expression suivante:

$$\begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Rt & t \\ 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} d & 0 & 0 & 0 \\ 0 & d & 0 & 0 \\ 0 & 0 & d & 0 \\ n_x & n_y & n_z & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{p_x} & 0 & 0 & \frac{-u_0}{p_x} \\ 0 & \frac{1}{p_y} & 0 & \frac{-v_0}{p_y} \\ 0 & 0 & \frac{1}{p} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{p} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \quad (8)$$

Avec (X_r, Y_r, Z_r) représentent les coordonnées du point objet reconstruit, d est la distance entre le plan objet et le plan d'étalonnage et (n_x, n_y, n_z) sont les coordonnées de la normale au plan de calibrage dans le repère caméra.

6. RESULTAS EXPERIMENTAUX

6.1 Reconstruction d'une mire d'étalonnage: Cas sans bruit sur les paramètres d'étalonnage

Pour cette étude nous avons procédé par une mire d'étalonnage de 25 points. On suppose que la camera CCD est de distance focale $f=50$ mm, le capteur de caméra est supposé de 1024×768 pixel, la taille de pixel est de $6,25 \mu m^2$ ce qui donne $f_x=f_y=8000$ pixel. Les

coordonnées du centre de l'image sont $u_0=512$, $v_0=384$, et on suppose que la distance de travail entre le plan d'étalonnage et la caméra est de 500 mm et que la mire est placée suivant un angle $\alpha=180^\circ$, $\beta=-45^\circ$, $\gamma=0$ par rapport au repère caméra.

Dans une première étape nous avons projeté les points de la mire donnée par (X, Y, Z) en utilisant les paramètres du modèle pour obtenir les coordonnées de leurs points images (u, v) ces coordonnées image sont y utilise avec les paramètres du modèle pour reconstruire les points de la mire (X_r, Y_r, Z_r) dans le plan de calibrage remonter aux coordonnées objet XYZrec dans le plan de calibrage.

La figure 1 montre que dans le cas où le modèle est parfaitement étalonner, les points de la mire reconstruite coïncident parfaitement avec les points initiaux.

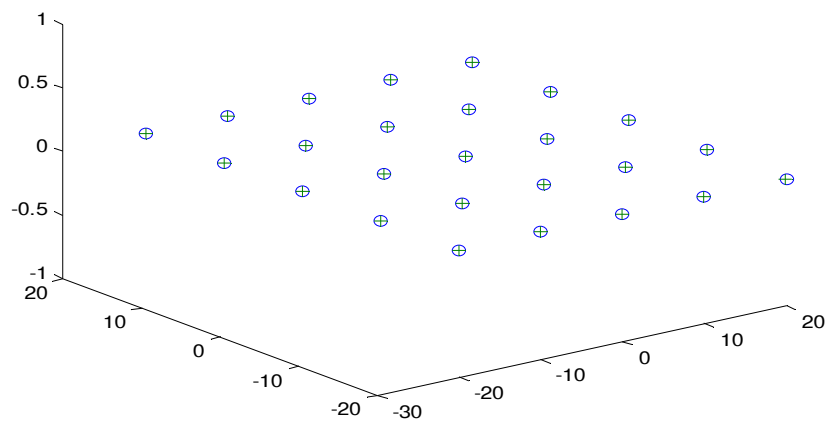


Figure1 : Reconstruction d'une mire d'étalonnage sans bruit sur les paramètres d'étalonnage

6.2 Reconstruction d'une mire d'étalonnage : cas avec bruit sur les paramètres d'étalonnage

Afin de montrer l'influence des paramètres d'étalonnage sur la reconstruction d'un objet placé dans le plan d'étalonnage, nous avons procédé par simulation et ajoutant des bruits sur le paramètre de la focale f . En effet dans un premier temps, nous avons projeté les points de la mire pour obtenir les points images mais sans bruit sur les paramètres du modèle.

Ensuite en utilisant ces points image et les paramètres avec bruit pour reconstruire les points de la mire. Les paramètres utilisés sont les mêmes que utilisées dans le paragraphe précédente. La figure 2 montre le résultat de la reconstruction pour un bruit sur la focale de l'ordre de 2mm.

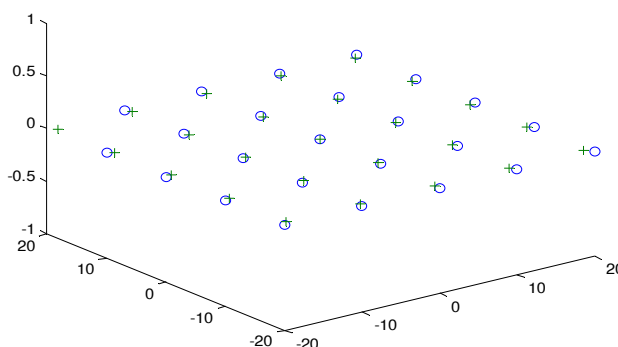


Figure 2 : Reconstruction d'une mire d'étalonnage avec un bruit de 2mm sur les paramètres d'étalonnage

Le tableau 1 montre l'influence de l'erreur sur la focale sur la reconstruction de la mire.

Table 1. Influence de l'erreur sur la focale sur la reconstruction

	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
Erreur suivant X : e_x	7.1054e-016	3.5527e-016	7.1054e-017	2.1316e-016	1.4211e-016
Erreur suivant Y : e_y	0.0054	0.0105	-0.0151	0.0194	0.0234

7. RECONSTRUCTION DE L'IMAGE 'PEPPERS.PNG'

L'image 'peppers.png' est connue sur Matlab, c'est une image de taille 512*384 pixel. Pour cette étude nous avons extrait une imagerie au centre de taille 128*128 pixels. Tout d'abord, nous avons effectués une interpolation bilinéaire sur cette imagerie, ensuite l'imagerie est projetée sur le capteur en utilisant toujours les mêmes paramètres .enfin cette dernière est reconstruite dans le plan de calibrage. La figure 3 illustre l'imagerie initial et la figure 4 montre l'imagerie reconstruite.

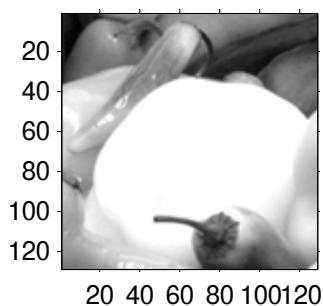


Figure 3 : Imagerie initiale 'peppers.png' de taille 128×128 pixels

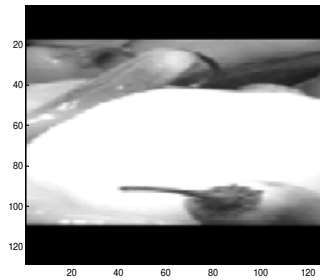


Figure 4 : Reconstruction d'une imagerie 'peppers.png' de taille 128×128 pixels

CONCLUSION

Connaissant les paramètres du modèle obtenu après étalonnage du système de caméra, on peut reconstruire un objet dans le plan d'étalonnage, l'erreur sur la reconstruction dépend de l'erreur sur les paramètres d'étalonnage. Nous avons montré jusqu'à une erreur de 5 mm sur la focale, on peut reconstruire correctement l'objet.

REFERENCES

1. Hinrich H,A, Roshop, F .Dresesen, Porc, of Fluids Engineering Division,American Society of Mechanical Engineers, ed, E.P.Rood 148:33-36 (1993) Holographic and stereoscopic advances in 3-D PIV.holographic Image Velocimetry KD.Hinsh,H
2. A. K. Prasad, K. Jensen, Appl, Opt.34:7092-7099 (1995) Scheimpflug stereocamera for particle image velocimetry in liquid flows
3. J.M.Lavest, M.Viala,M. Dhome,Proc. Of ECCV98, Freiburg, Germany, 158-174 (1998)

Do we really need an accurate calibration pattern to achieve a reliable camera calibration