

Reconstruction 3D d'objet à partir d'une image catadioptrique multi-plan

Noureddine Mohtaram^{1,3} Amina Radgui² Guillaume Caron³ El Mustapha Mouaddib³ Driss Aboutajdine¹

¹ LRIT - CNRST URAC29, Faculté des sciences, Université Mohammed V, Rabat, Maroc

² INPT, Madinat AL Irfane, Rabat, Maroc

³ Université de Picardie Jules Verne, Laboratoire MIS EA 4290, Amiens, France

{ noureddine.mohtaram, guillaume.caron, mouaddib } @u-picardie.fr
radgui@inpt.ac.ma, aboutaj@hotmail.com

Résumé

L'étude porte sur un Système Stéréo Catadioptrique multi-Plan (SSCP) constitué d'une unique caméra perspective et deux miroirs plans judicieusement positionnés. En positionnant un objet entre les miroirs plans et la caméra, cinq vues en sont observées simultanément.

Dans cet article, nous abordons la modélisation et l'étalonnage géométrique de SSCP. Les points d'intérêt détectés dans la vue directe servent de référence pour la recherche de correspondances sous la contrainte d'une homographie minimisant l'erreur photométrique entre voisinages. La correspondance mène à la reconstruction 3D des points dont les résultats démontrent la qualité de la méthode de recherche de correspondances et que la reconstruction 3D avec une image d'un SSCP est possible.

Mots Clef

Vision catadioptrique multi-plan, étalonnage, homographie, reconstruction 3D.

Abstract

In this paper, we consider a multi-Plane Catadioptric Stereo System (PCSS), composed of a single camera and two planar mirrors, instead of the conventional multi-camera system. By placing an object between the mirrors and the camera, five views are got in one shot.

At first, the partial ckeckboard-based calibration task is achieved. Then, keypoints are detected in the direct view and their corresponding points are found by computing the optimal homography, minimizing the photometric error between neighborhoods. Results show the quality of the matching point search and that the 3D reconstruction with PCSS is possible.

Keywords

Multi-plane catadioptric vision, calibration, homography, 3D reconstruction.

1 Introduction

Un système catadioptrique est composé de lentilles réfractantes (dioptries) et de miroirs réfléchissants (catoptrique)

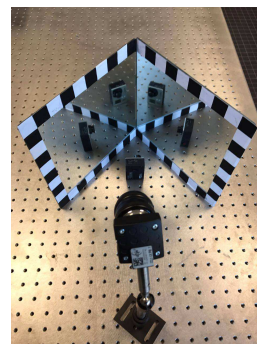


FIGURE 1 – Système Stéréo Catadioptrique multi-Plan composé d'une caméra et deux miroirs plans

[2]. L'utilisation des miroirs plans permet de changer la direction de vue et d'acquérir plusieurs vues simultanément. Le système stéréo catadioptrique multi-plan (SSCP) employé dans cette étude est constitué d'une seule caméra perspective et deux miroirs plans (Fig. 1). Employer ce système permet de compléter la caméra par quatre caméras virtuelles pour envisager une reconstruction 3D d'un objet observé, autour de son axe vertical [1, 4].

Cependant, l'obtention d'une forme précise des objets reste un défi car les méthodes de reconstruction 3D existantes dépendent de l'extraction des silhouettes des objets, particulièrement difficile quand les objets sont texturés, même avec les plusieurs vues qu'elles nécessitent.

C'est pourquoi nous proposons une approche de reconstruction 3D basée points d'intérêt détectés sur l'objet observé par un SSCP.

2 Modèle du SSCP et étalonnage

On note Π_i le plan du $i^{\text{ème}}$ miroir, C_r la vue directe (caméra réelle), C_s une vue réfléchiée et C_{sd} une vue issue de deux réflexions, sur deux miroirs, avec $s = \{1, 2\}$ et $d = \{1, 2\}$. Ces dernières forment quatre vues virtuelles. Cinq vues du même objet sont donc considérées lors d'une seule acquisition. Ces caméras, réelle ou virtuelles, et les miroirs sont rigidement liés par les transformations rigides qu'il convient d'étalonner, par optimisation de leurs paramètres minimi-

sant l'erreur de reprojection des coins des bandes de mires des bords des miroirs. La subtilité réside dans la symétrie induite par chaque miroir transformant une base orthonormée directe en une base orthonormée indirecte, impliquant, pour un point 3D ${}^r\mathbf{P}$, exprimé dans le repère C_r :

$${}^v\mathbf{P} = \mathcal{D}^{\Pi_i} {}^r\mathbf{P} \quad (1)$$

où

$$\mathcal{D}^{\Pi_i} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} - 2\mathbf{n}_i\mathbf{n}_i^T & -2d_i\mathbf{n}_i \\ \mathbf{0}_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

est la matrice de la réflexion du miroir i , avec d_i et \mathbf{n}_i les paramètres du plan du miroir ($\|\mathbf{n}_i\| = 1$). En prenant cela en compte dans la modélisation de la fonction de projection, l'étalonnage est réalisé, par extension de la toolbox de Bouguet¹.

3 Reconstruction 3D basée SSCP

3.1 Appariement entre les quatre clusters

Cette étape consiste à trouver l'ensemble des points de correspondance entre chaque paire de vues symétriques que nous représentons par un cluster, auquel sont associées des homographies différentes. Ces homographies sont estimées par une méthode d'optimisation définie dans la partie 3.2. Nous considérons par la suite quatre clusters possibles qui représentent l'ensemble de vues existantes dans notre SSCP.

3.2 Estimation des homographies dans chaque clusters

Nous appliquons le détecteur de Harris sur une région de la vue directe, délimitée manuellement, et de rechercher automatiquement leurs correspondants dans la vue réfléchie. Cette recherche se fait en utilisant le voisinage du point d'intérêt et, en le supposant plan, en calculant l'homographie optimale $\hat{\mathbf{H}}_{3 \times 3}$ minimisant la somme des différences absolues (SAD) des pixels entre le voisinage et son transformé, appelé patch, dans une autre vue par \mathbf{H} , soit :

$$\hat{\mathbf{H}} = \underset{\mathbf{H}}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^k |I(\mathbf{p}_i) - I(\mathbf{H}\mathbf{p}_i)|/k, \quad (3)$$

pour les k pixels \mathbf{p}_i du voisinage du point d'intérêt dans l'image I . L'optimisation de \mathbf{H} se fait par l'algorithme de Branch-and-Bound [3] (Fig.2). Une fois les correspondances déterminées, les points 3D sont reconstruits par intersection des lignes de vues, classiquement.

3.3 Résultats

La reconstruction 3D des points d'intérêt de la boîte de 20 cm de côté, visible en figure 2, est effectuée et, puisqu'il s'agit d'une image synthétique, les erreurs de reconstruction peuvent être analysées avec 78% de chances de reconstruire un point en 3D avec une erreur de 0,1 mm au plus (Fig. 3). Pour obtenir ce résultat, chaque miroir fait 60 cm de côté et la caméra est placée à 1,25 m de la boîte.

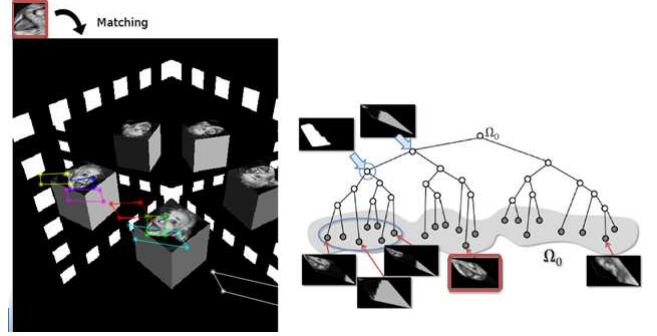


FIGURE 2 – Représentation graphique de l'ensemble de patches à partir des homographies potentielles.

4 Conclusion et perspectives

La reconstruction 3D de points d'un objet observé par une caméra et deux miroirs plans a été présentée. La contribution de l'article concerne la recherche de points des vues réfléchies correspondants à des points d'intérêt détectés dans la vue directe. La recherche exploite la géométrie du système et, en particulier, l'homographie. Les résultats de reconstruction sur images de synthèse forment la base de travaux futurs pour la reconstruction 3D dense d'objets réels.

Remerciements

Ce travail est soutenu par le projet international ATHAR-3D (financement Franco-Marocain, PHC Toubkal).

Références

- [1] K. Forbes, F. Nicolls, G. De Jager, and A. Voigt. Shape-from-silhouette with two mirrors and an uncalibrated camera. In *European Conf. on Computer Vision*, pages 165–178, 2006.
- [2] E. Hecht. *Optics : 3rd edition*. Addison-Wesley, 1997.
- [3] S. Korman, D. Reichman, G. Tsur, and S. Avidan. Fast-match : Fast affine template matching. In *IEEE conf. on Computer Vision and Pattern Recog.*, pages 2331–2338, 2013.
- [4] Y. Zhao, X. Zhang, Y. Wang, and L. Xu. Camera self-calibration based on circular points with two planar mirrors using silhouettes. *Multimedia Tools and Applications*, 75(13) :7981–7997, 2016.

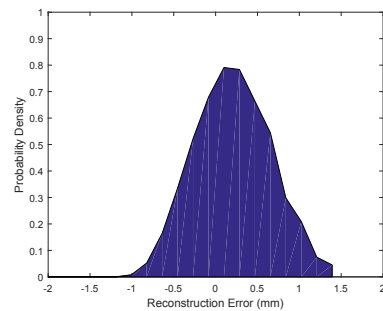


FIGURE 3 – Analyse des erreurs de reconstruction : densité de probabilité des erreurs de reconstruction des points 3D par notre méthode par rapport à la vérité terrain.

1. https://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/