Système de miroirs pour la stéréoscopie

Hervé Mathieu, Frédéric Devernay

▶ **To cite this version:**

Hervé Mathieu, Frédéric Devernay. Système de miroirs pour la stéréoscopie. [Rapport Technique] RT-0172, INRIA. 1995, pp.14. inria-00069998

HAL Id: inria-00069998
https://inria.hal.science/inria-00069998

Submitted on 19 May 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INRIA

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

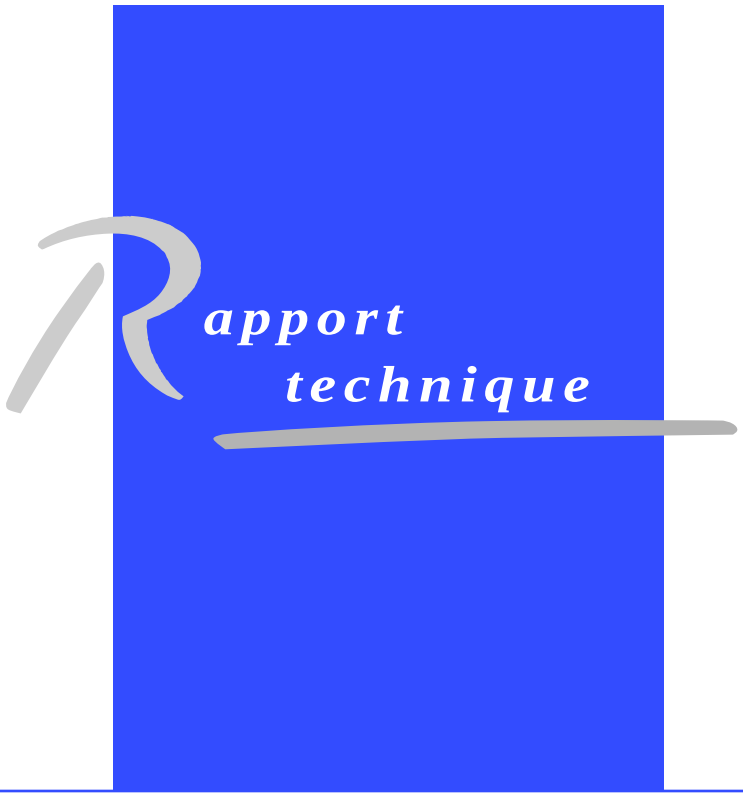
Système de miroirs pour la stéréoscopie

Hervé MATHIEU , Frédéric DEVERNAY

N° 172

Juin 1995

PROGRAMME 4



ISSN 0249-6399

INRIA
SOPHIA ANTIPOLIS

Système de miroirs pour la stéréoscopie

Hervé MATHIEU , Frédéric DEVERNAY

Programme 4 — Robotique, image et vision
Projet Robotvis

Rapport technique n ° 172 — Juin 1995 — 14 pages

Résumé : La plupart des systèmes d'acquisition vidéo actuels ne possèdent pas d'entrées simultanées, ce qui empêche tout traitement de paires d'images d'objets en mouvement.

Ce document décrit un système à base de miroirs permettant de faire de la stéréovision à partir d'une seule caméra.

Ce rapport possède trois parties :

- Une présentation générale du concept et les équations minimales d'optiques nécessaires à sa compréhension.
- Un plan de fabrication mécanique du système, c'est à dire les plans et la méthode de mise au point du montage.
- Une description de notre application principale : la stéréovision dense par corrélation.

Mots-clé : Miroir, Caméra, Stéréoscopie, Acquisition, Corrélation

(Abstract: pto)

Unité de recherche INRIA Sophia-Antipolis
2004 route des Lucioles, BP 93, 06902 SOPHIA-ANTIPOLIS Cedex (France)
Téléphone : (33) 93 65 77 77 – Télécopie : (33) 93 65 77 65

A mirror-based system for stereoscopy

Abstract: Most of today's video acquisition systems don't handle simultaneous ans synchronized inputs, and this prevents from taking stereo snapshots of moving objects.

This document describes a mirror-based stereoscopy system which enables taking stereo pictures with only one camera.

This report contains three parts:

- A general presentation of the concept and the minimal optics equations necessary to undertand it.
- A very precise description of how we built our system.
- A description of our main application: dense stereoscopy by correlation.

Key-words: Mirror, Camera, Stereoscopy, Acquisition, Correlation

Table des matières

1 Les raisons d'un tel système **4**

2 Le système de miroirs **5**
2.1 Géométrie du système 5
2.2 Calcul des dimensions des miroirs 6
2.3 Flou entre les deux images 7
2.4 Plan de montage 8

3 Application à la vision stéréoscopique **12**
3.1 L'algorithme 12
3.2 Mise en place du module de stéréovision 12

1 Les raisons d'un tel système

Notre laboratoire a une longue expérience dans le domaine de la vision par ordinateur stéréoscopique, et le premier maillon de la chaîne de traitement est l'acquisition vidéo. Pour reconstruire une scène en 3D à partir d'images, il faut plusieurs points de vues, et si la scène possède des éléments dynamiques, ces images doivent être prises simultanément.

Dans le cas d'images monochromes, on peut utiliser des systèmes d'acquisition couleurs ayant une entrée RVB[1] en digitalisant chaque image sur un des canals couleur. Une autre solution est d'utiliser des caméras à lecture d'image différée comme la PULNIX TM9700, mais il faut pouvoir les commander par des sorties logiques. Pour les images couleurs, il est nécessaire d'utiliser plusieurs systèmes d'acquisition synchronisés. Cette méthode peut s'appliquer aussi à des caméras monochromes.

La plupart des systèmes d'acquisition vidéo actuels ne possèdent pas d'entrées simultanées, leurs entrées couleurs sont généralement au standard composite ou S-VHS, et quand il y a plusieurs entrées, celles-ci sont multiplexées.

Un deuxième problème se posait à nous. Dans l'algorithme de stéréovision décrit section 3.1, la phase de rectification permet de projeter les images sur un plan particulier. Cette opération peut être évitée si les plans images des cameras (les CCD) sont parallèles à la droite formée par les deux centres optiques des caméras. Une étude succinte nous a montré l'impossibilité de réaliser une telle configuration avec ce système de miroirs pour des raisons géométriques. Pourtant, le fait de se rapprocher de cette configuration permet au moment de la rectification de deformer beaucoup moins les images et donc d'améliorer les résultats de la stéréovision.

La solution explicitée dans ce rapport répond à deux problèmes importants de la vision stéréoscopique. Elle est, de plus, très simple à mettre en œuvre puisque que le système ne demande qu'un support rigide et quelques centimètres carrés de miroir standard.

1. Rouge Vert Bleu

2 Le système de miroirs

2.1 Géométrie du système

Le principe de notre système de miroirs, comme montré en figure 1, est de simuler à partir d'une seule caméra la présence de deux caméras virtuelles, permettant ainsi de faire de la vision stéréoscopique à moindres frais.

Une configuration idéale serait d'avoir les caméras en position standard, les plan des rétines des deux caméras et la droite joignant leurs centres optiques étant tous trois parallèles, mais hélas dans notre cas ceci impliquerait que la zone de recouvrement soit nulle, ce qui présente peu d'intérêt pour faire de la stéréoscopie.

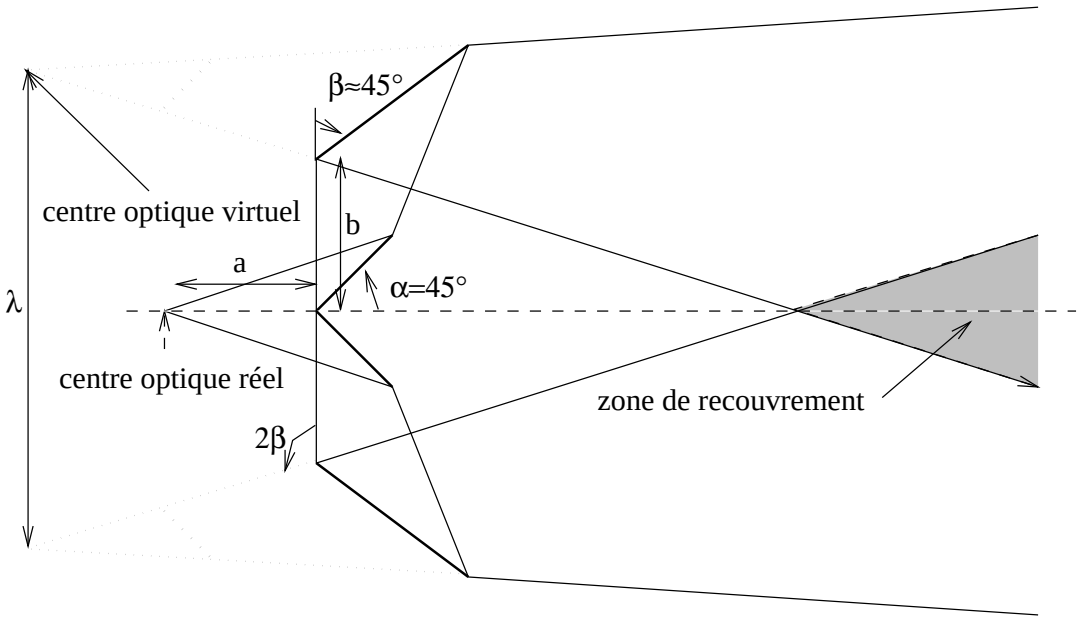


FIG. 1 - *Principe géométrique du système de miroirs*

2.2 Calcul des dimensions des miroirs

On «déplie» le système optique en dessinant des chemins optiques rectilignes en vue de côté comme en vue de dessus (figure 2), ce qui nous permet de visualiser la taille des miroirs nécessaires pour le système. Dans la figure, ω_1 est le champ de vision horizontal, et ω_2 le champ de vision vertical. En général avec les caméras CCD communes on a $\omega_2 = \omega_1 \times \frac{3}{4}$

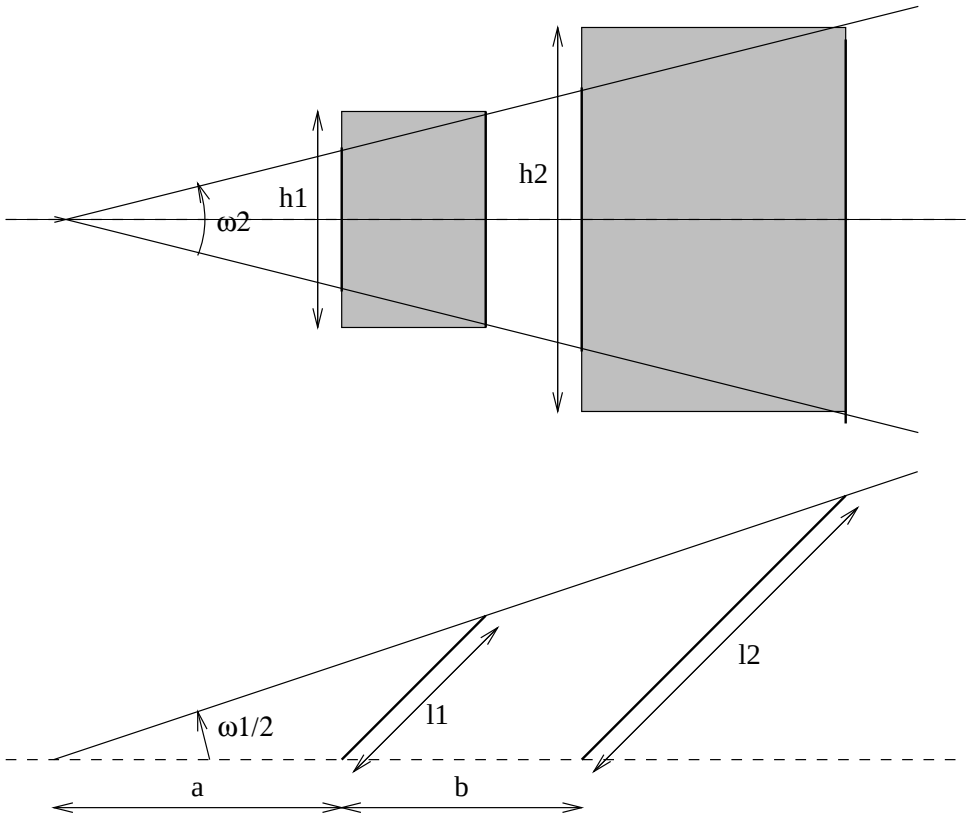


FIG. 2 - *Système «déplié» et calcul de la dimension des miroirs*

Un calcul trigonométrique simple nous donne les dimensions $l_1 \times h_1$ des petits miroirs et celles $l_2 \times h_2$ des grands miroirs :

$$l_1 = \frac{a\sqrt{2}}{\mathrm{cotg}\frac{\omega_1}{2} - 1}$$

$$h_1 = 2\sin\frac{\omega_1}{2}\left(a + \frac{\sqrt{2}}{2}l_1\right)$$

$$l_2 = \frac{(a+b)\sqrt{2}}{\mathrm{cotg}\frac{\omega_1}{2} - 1}$$

$$h_2 = 2\sin\frac{\omega_1}{2}\left(a + b + \frac{\sqrt{2}}{2}l_2\right)$$

La ligne de base virtuelle λ, qui est la distance entre les centres optiques virtuels (figure 1) est supérieure à $2b$:

$$\lambda = 2b - 2(a+b)\cos(2\beta)$$

Nous avons voulu réaliser un système qui puisse fonctionner avec deux objectifs de distances focales différentes, donc avec deux valeurs différantes de ω_1. La taille des grands miroirs ne pouvant être changée facilement, nous avons donc utilisé deux paires de trous différents pour la fixation de ceux-ci, correspondant à deux valeurs différentes de b et donc de la ligne de base virtuelle (voir le plan de montage en figure 3).

2.3 Flou entre les deux images

Le flou présent entre les deux demi-images est dû au flou optique généré par l'arrête du dièdre formé par les deux petits miroirs, qui est à une distance a assez faible du centre optique. Le contenu des demi-images de droite et de gauche lui-même n'est pas flou, mais les images sont plutôt «melangées» sur une bande verticale située au milieu de l'image. La largeur de cette bande est égale à la largeur de la tache de flou optique générée par l'arrête dont le calcul est possible [6] mais n'est pas reporté ici.

Pour diminuer ce flou, plusieurs solutions sont disponibles :

– utiliser une distance a plus grande ;

- augmenter la profondeur de champ en fermant le diaphragme de la caméra ;
- augmenter la profondeur de champ en utilisant un objectif de plus petite focale (il faudra alors utiliser de plus grands miroirs, ou diminuer la distance b).

2.4 Plan de montage

Du point de vue optique et mécanique, des systèmes équivalents ont été décrits, par exemple dans [4]. L'idée n'est donc pas nouvelle, notre travail a consisté à réaliser un prototype (figure 3) et à valider cette approche pour un algorithme qui nécessite des données de bonne qualité, la stéréoscopie dense par corrélation.

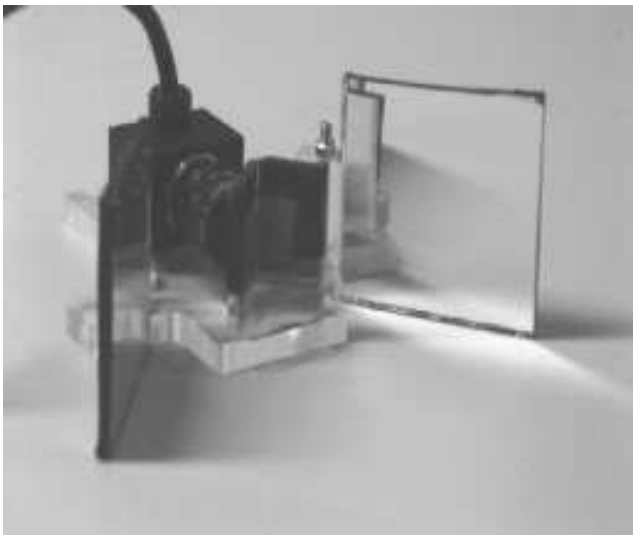


FIG. 3 - *Vue du système*

Le montage du système (figure 4) ne présente qu'une seule difficulté qui est le collage des miroirs centraux entre eux puis sur la plaque. Il faut en

effet coller ces miroirs le plus verticalement possible de manière à optimiser le recouvrement des champs visuels.

Le matériel utilisé est composé : d'une scie sauteuse, d'une perceuse à colonnes avec forêt de 5 mm, et d'une fraiseuse munie de deux fraises (8 et 12 mm) et d'une meuleuse.

Et pour les consommables : une plaque 15×15cm de plexiglas, deux vis+écrou de 5 × 50, de la colle de type Araldite bleu, et du miroir standard (4mm).

Pour les côtes exactes, se reporter au plan 4.

- A partir d'une plaque de plexiglas de 15 × 15cm, scier la forme finale en prenant de un à deux millimètres de marge.
- Les supports des grands miroirs sont récupérés dans les deux plus grandes chutes, les mettre à des côtes égales (fraise 12mm) puis percer un trou débouchant de diamètre 5mm.
- Une des petites chutes fournit le socle qui recevra les petits miroirs. La mettre aux côtes (fraise 12mm).
- Mettre aux côtes la plaque (fraise 12mm)
- Sur la fraiseuse, faire le lamage pour la fixation de la caméra (fraise 12mm), puis faire le trou oblong (fraise 8mm).
- Sur la plaque et pour chacun des quatres trous de fixations des grands miroirs, percer puis faire un lamage (fraise 12mm).
- Coller les grands miroirs sur leur support. Leur positionnement est tel que les miroirs soient au bord de la plaque support quand les miroirs sont à 45 degrés. C'est en effet le position limite au dela de laquelle les deux vues n'ont plus de champ visuel commun.
- Meuler les deux petits miroirs a 45 degrés par passe de 1/8 mm. Attention: opération délicate. Une autre solution est d'acheter des miroirs mis aux côtes dans une verrerie.
- Coller les petits miroirs sur leur support et entre eux en respectant au maximum la verticalité. Pour cela mettre le système sur un plan (une

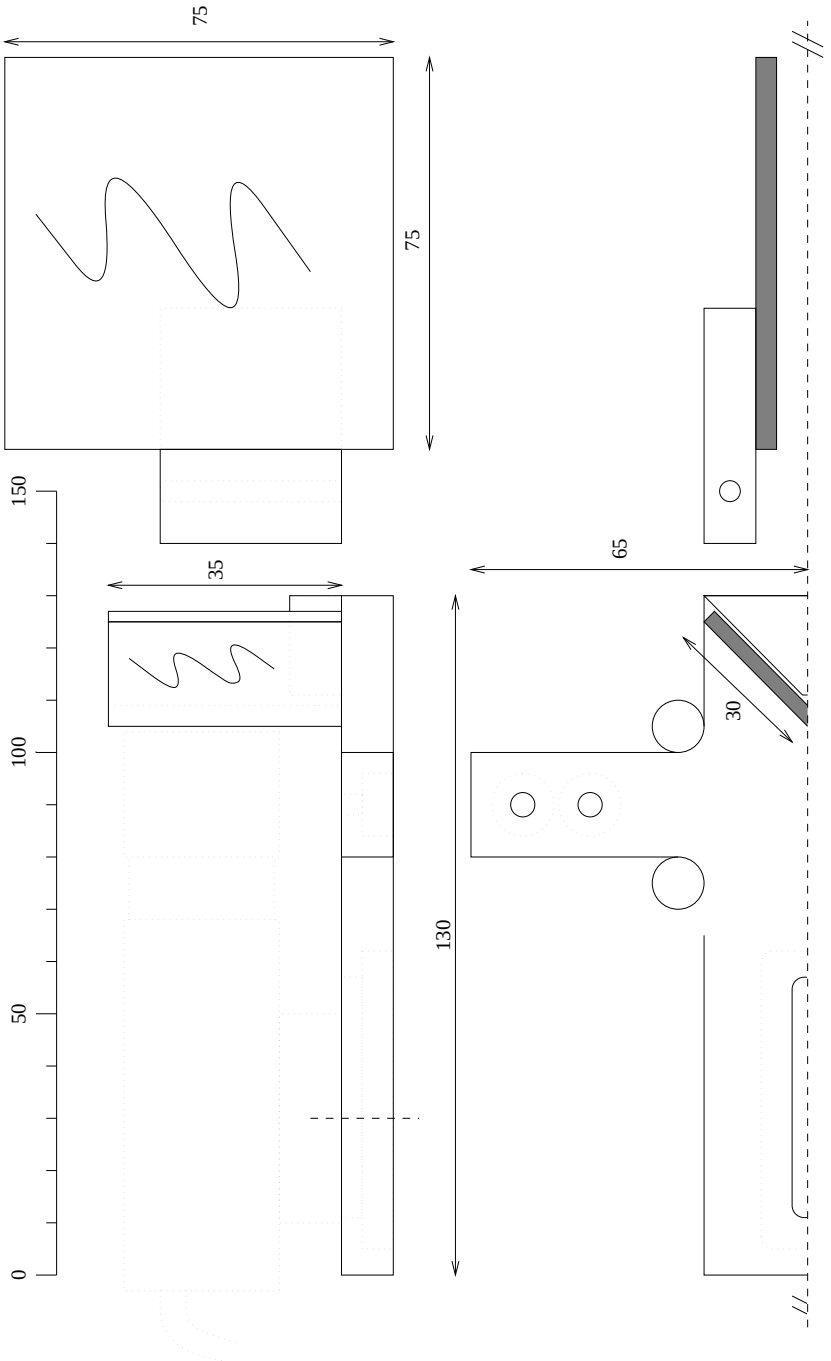


FIG. 4 - *Plan du système*

table par exemple), mettre deux objets identiques de part et d'autre des miroirs, se mettre à la hauteur de miroirs et modifier l'inclinaison de ceux-ci de manière à obtenir un reflet des deux objets sur une même horizontale.

– Attendre le séchage, visser les grands miroirs, mettre une caméra, et visualiser l'image d'un objet présentant des lignes horizontales, sur un moniteur. Coller l'ensemble des petits miroirs sur la plaque et modifier son assiette de manière à ce que les lignes horizontales se rejoignent au centre de l'image. Cette opération est redondante avec la précédente, mais est nécessaire pour un bon positionnement.

Le réglage de l'ouverture des grands miroirs dépend de la focale de la caméra, et de la scène que l'on souhaite observer (figure 5).

FIG. 5 - *Image prise avec le système de miroirs*

3 Application à la vision stéréoscopique

3.1 L'algorithme

L'algorithme de stéréovision développé dans le projet et son implémentation sur diverses types de machines sont décrit dans [1].

En résumé, l'algorithme de stéréovision consiste à obtenir une carte 3-D dense d'une scène en mettant en correspondance les points des images acquises. Il peut se décomposer en trois parties :

1. La rectification consiste à reprojeter les images originales sur un plan parallèle à la droite joignant les centres optiques des caméras, de façon à obtenir des lignes épipolaires parallèles. Ceci permet de transformer une recherche de correspondant bi-dimensionnelle en une recherche mono-dimensionnelle, d'où un gain de temps de calcul considérable.

2. La corrélation consiste à trouver pour chaque point de l'image de référence son homologue dans l'autre image en examinant une liste de points candidats sur un certain intervalle le long de la ligne correspondante.

3. la reconstruction permet, par triangulation, de transformer la notion de correspondances en données 3D.

D'autres algorithmes peuvent être utilisé sur les résultats obtenus, comme la génération de modèle numérique de terrain (MNT) utilisée pour la plannification de trajectoire, ou la réalité augmentée, c'est à dire un recalage de cartes 3D avec des cartes de mondes virtuels.

3.2 Mise en place du module de stéréovision

Cette section a pour but de lister les outils nécessaires et de donner la méthodologie pour utiliser le logiciel de stéréovision avec le système de miroir.

Du point de vue matériel, il faut :

- Le système de miroir.

- Une caméra type CCD dont les dimensions permettent le montage sur le système de miroir.

– Un système d'acquisition vidéo avec possiblité de lire une image monochrome ou couleur.

L'étape préliminaire consiste à *calibrer* le système. Celle-ci doit être répétée à chaque modification de la géométrie des miroirs ou de la caméra, et il est conseillé de la refaire pour chaque serie d'acquisition pour une bonne précision des résultats.

Il existe pricipalement deux méthodes pour calibrer un système de caméras.

La première, appelée *calibration forte*, consiste à prendre des images d'une mire (plane dans deux positions ou bi-plane dans une position), de détecter des points d'intêrets dont on connaît précisément les mesures et d'en déduire une matrice de projection 3D-2D[3]. Son avantage est que l'on obtient directement tous les paramètres nécessaires au calcul de points 3D, l'inconvenient est qu'il faut toujours avoir une mire «sous la main».

La seconde, appelée *calibration faible*, consiste à prendre des images d'un environnement quelconque, et de déterminer la *matrice fondamentale* du système. Cette matrice contient toute l'information géométrique disponible et permet de décrire la géométrie épipolaire à partir de deux vues perspectives non calibrées. Son avantage est l'absence de toute mire, ce qui la,rend particulièrement «portable» sur n'importe quel site, son inconvénient étant que cette matrice ne nous permet pas de travailler dans un repère euclidien (espace métrique) mais dans un repère projectif.

Le passage du monde projectif au monde euclidien peut être réalisé par des méthodes d'autocalibration [2, 5].

Il faut noter que bon nombre d'applications, comme l'evitement d'obstacle, peuvent être traité, sans expliciter un repère métrique [7].

Pour ces deux méthodes, les logiciels nécessaires se trouvent sur le site ftp `krakatoa.inria.fr` de l'INRIA.

La calibration étant faite, le logiciel de stéréovision peut être utilisé. La possibilité de sauvegarder les résultats intermédiaires permet de comprendre et de vérifier chaque étape de l'algorithme, c'est à dire la rectification, la corrélation et la reconstruction 3D. Ce logiciel de stéréovision est disponible sur le même site ftp de l'INRIA.

Références

[1] Olivier Faugeras, Bernard Hotz, Hervé Mathieu, Thierry Viéville, Zhengyou Zhang, Pascal Fua, Eric Théron, Laurent Moll, Gérard Berry, Jean Vuillemin, Patrice Bertin, and Catherine Proy. Real time correlation based stereo: algorithm implementations and applications. Technical Report 2013, INRIA Sophia-Antipolis, France, 1993. Submitted to *The International Journal of Computer Vision.*

[2] Olivier Faugeras, Tuan Luong, and Steven Maybank. Camera self-calibration: theory and experiments. In G. Sandini, editor, *Proceedings of the 2nd European Conference on Computer Vision*, volume 588 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 321–334, Santa Margherita Ligure, Italy, May 1992. Springer-Verlag.

[3] Olivier Faugeras and Giorgio Toscani. The calibration problem for stereo. In *Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Publication 86CH2290-5, pages 15–20, Miami Beach, FL, June 1986. IEEE.

[4] M. Inaba, T. Hara, and H. Inoue. A stereo viewer based on a single camera with view-control mechanisms. In *Proc. Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Yokohama, Japon, July 1993.

[5] Quang-Tuan Luong and Olivier Faugeras. A stability analysis of the fundamental matrix. In J-O. Eklundh, editor, *Proceedings of the 3rd European Conference on Computer Vision*, volume 800-801 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 577–588, Stockholm, Sweden, May 1994. Springer-Verlag.

[6] J. Ph. Pérez. *Optique géométrique, ondulatoire et polarisation.* Masson, Paris Milan Barcelone Bonn, 3e edition, 1991.

[7] Cyril Zeller and Olivier Faugeras. Applications of non-metric vision to some visual guided tasks. In *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition*, pages 132–136, Jerusalem, Israel, October 1994. Computer Society Press. A longer version in INRIA Tech Report RR2308.

Unité de recherche INRIA Lorraine, Technopôle de Nancy-Brabois, Campus scientifique,
615 rue du Jardin Botanique, BP 101, 54600 VILLERS LÈS NANCY
Unité de recherche INRIA Rennes, Irisa, Campus universitaire de Beaulieu, 35042 RENNES Cedex
Unité de recherche INRIA Rhône-Alpes, 46 avenue Félix Viallet, 38031 GRENOBLE Cedex 1
Unité de recherche INRIA Rocquencourt, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 LE CHESNAY Cedex
Unité de recherche INRIA Sophia-Antipolis, 2004 route des Lucioles, BP 93, 06902 SOPHIA-ANTIPOLIS Cedex

Éditeur
INRIA, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 LE CHESNAY Cedex (France)
ISSN 0249-6399