

# Un Système de vision 3D omnidirectionnelle

## An Omnidirectional 3D vision sensor

R. Orghidan<sup>1</sup>

E.M. Mouaddib<sup>2</sup>

J. Salvi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Informatics and Applications, Computer Vision and Robotics Group,  
University of Girona, Girona, Catalonia, Spain.

<sup>2</sup> Centre de Robotique, Électrotechnique et Automatique,  
Université de Picardie Jules Verne, Amiens, France.

Edifici P-IV, Av. Lluís Santaló, s/n, 17071-Girona  
radu@eia.udg.es

### Résumé

*Nous présentons dans cet article un système de vision qui associe la vision omnidirectionnelle et la lumière structurée pour fournir une information sur la profondeur à partir d'un champ de vue panoramique. Un tel dispositif est intéressant pour la navigation des robots. L'approche proposée dans cet article combine une caméra omnidirectionnelle avec un projecteur de lumière structurée. L'étalonnage des deux composants est détaillé et des résultats expérimentaux de calibration et de reconstruction 3D sont présentés.*

### Mots Clef

Vision omnidirectionnelle, calibration, lumière structurée, reconstruction 3D.

### Abstract

*A practical way for obtaining depth in computer vision is the use of structured light systems. For panoramic depth reconstruction several images are needed which most likely implies the construction of a sensor with mobile elements. Moreover, misalignments can appear for non-static scenes. Omnidirectional cameras offer a much wider field of view than the perspective ones, capture a panoramic image at every moment and alleviate the problems due to occlusions. This paper is focused on the idea of combining omnidirectional vision and structured light with the aim to obtain panoramic depth information. The resulting sensor is formed by a single catadioptric camera and an omnidirectional light projector.*

### Keywords

Catadioptric, omnidirectional vision, calibration, structured light, 3D reconstruction.

## 1 Introduction

Les dispositifs omnidirectionnels augmentent le champ de vision des caméras traditionnelles en utilisant différentes techniques : des optiques spéciales, des structures de caméras (immobiles ou giratoires) ou des combinaisons de lentilles et de miroirs. Pour en savoir davantage, on peut se référer à l'état d'art publié par Yagi [16] présentant les techniques de construction des caméras avec un champ de vue élargi.

Les dispositifs catadioptriques sont formés par au moins un miroir couplé à une caméra conventionnelle. On peut classer les caméras catadioptriques en fonction de la manière avec laquelle elles focalisent ou pas la lumière. Quand tous les rayons qui forment l'image se croisent en un seul point, dénommé point focal, le dispositif a ce que l'on nomme un Point de Vue Unique (PVU). Ces dispositifs ont été formalisés par Baker et Nayar [1]. L'existence du PVU simplifie la modélisation et le calibration de ces caméras et permet de transformer des images omnidirectionnelles en images panoramiques semblables aux images conventionnelles. Les dispositifs ne disposant pas du PVU sont moins répandus mais peuvent être utilisés pour des applications spécifiques ayant des contraintes particulières comme, par exemple, des résolutions imposées [8] ou des contraintes projectives [4].

La stéréovision passive utilise différentes images d'une même scène pour obtenir la profondeur. Dans le cas des dispositifs catadioptriques stéréo, on est en présence de structures construites pour obtenir la profondeur avec un champ de vue hémisphérique obtenu grâce à des miroirs courbes [11] [7] [3] ou plans [6]. Ces méthodes sont basées sur l'hypothèse que les correspondances entre les points de plusieurs images peuvent être trouvées avec une grande précision. Néanmoins, la recherche des correspondances dans le cas des dispositifs catadioptriques est plus difficile à cause des distorsions géométriques et de la basse résolution

des images. Une solution à ce problème est offerte par la lumière structurée, voir [15] [14] et [9]. Cette technique permet de projeter, dans la scène, des formes plus faciles à détecter et à identifier.

Le travail présenté dans cet article, concerne un nouveau dispositif omnidirectionnel qui permet d'obtenir des données sur la profondeur en utilisant une seule caméra et un projecteur omnidirectionnel de lumière structurée. Ce système ne nécessite donc pas de balayage. Il en résulte plusieurs avantages : acquisitions à la cadence vidéo, meilleure robustesse mécanique, ... Il peut ainsi être monté sur un robot mobile en lui offrant un champ de vue de 360 degrés pour réaliser des missions comme, par exemple, la construction de cartes 3D, la navigation et la localisation de robots mobiles, la surveillance active et la détection d'objets en temps réel ou encore la reconstruction 3D.

La suite de l'article expose la description technique de ce capteur, sa modélisation géométrique ainsi que le calibrage de ses deux composants (caméra+projecteur). Nous montrerons dans la troisième partie la faisabilité de ce système en fournissant des résultats expérimentaux dans la section 4, concernant le calibrage et la reconstruction 3D d'une scène simple. Enfin nous évoquerons nos conclusions et perspectives.

## 2 Description du capteur

Grâce à leurs propriétés optiques, les dispositifs catadioptriques avec PVU ont été choisis pour construire la caméra omnidirectionnelle. La contrainte de la projection centrale est respectée par les miroirs paraboliques conjointement utilisé avec des caméras orthographiques ou par les miroirs hyperboliques conjointement utilisé avec des caméras perspectives. La première configuration, qui garde la propriété du PVU indépendamment de la translation sur  $Z$  entre le miroir et la caméra, a été préférée.

Le projecteur omnidirectionnel est composé d'un laser qui envoie un patron circulaire et est pointé vers un miroir conique pour que le rayon puisse couvrir toute la scène observée par la caméra. Ce projecteur peut être vu comme une caméra omnidirectionnelle où la lumière circule à l'envers. On peut bénéficier alors des études faites sur les caméras catadioptriques avec un miroir conique. Lin et Bajcsy [10] ont démontré que le miroir conique associé à une caméra perspective ayant une focale courte peut être approximé avec un PVU. Cependant, comme nous le verrons dans la section 3.2, le modèle que nous avons choisi n'exploite pas le PVU. En outre, le miroir conique a l'avantage par rapport à d'autres miroirs, de ne pas introduire de distorsions longitudinales. Yagi [16] souligne le fait que le miroir conique se comporte, en coupe verticale, comme un miroir plan et par conséquent donne une meilleure résolution que d'autres miroirs utilisés pour construire des caméras omnidirectionnelles. Baker et Nayar [1] prouvent que les miroirs courbes (comme les paraboliques, hyperboliques, etc.) augmentent le "defocus blur" à cause de leur courbure. C'est pour ces raisons que nous avons retenu le cône pour construire notre

système de projection omnidirectionnel.

Le dispositif a été construit en utilisant des composants disponibles dans le commerce, à l'exception du miroir conique qui a été construit sur la base d'une commande spécifique. L'optique et le miroir utilisés pour la caméra omnidirectionnelle ont été produits par Remote Reality [13]. La partie réfléchissante est constituée de deux miroirs : un miroir parabolique et un miroir sphérique. La référence de la caméra est Sony SSC-DC198P (CCD de 1/3"). Le laser et son optique sont produits par Lasiris. La puissance de sa diode est de 3mW. Il produit une lumière rouge avec une fréquence de 635nm.

## 3 Modélisation du capteur

Le dispositif proposé a été conçu pour donner une information sur la profondeur de la scène observée tout en évitant le problème de la mise en correspondance.

Dans cette solution, présentée dans la Figure 1, la caméra omnidirectionnelle est couplée à un projecteur de lumière structurée qui a aussi un champ de vision de 360 degrés. Une structure plus compacte peut être construite en plaçant le projecteur dans la région "aveugle" de la caméra. Dans [12] nous avons décrit et analysé par simulation un dispositif similaire. Néanmoins, pour la réalisation du prototype, les deux parties ont été séparées pour plus de facilité lors des manipulations.

La troisième dimension est perçue en faisant l'intersection des rayons laser avec les rayons captés par la caméra. Autrement dit, en faisant une triangulation. Les points du patron laser sont réfléchis par le miroir conique et deviennent des points lumineux dans la scène. La scène est réfléchi sur le miroir parabolique et se projéte sur le CCD de la caméra. Les points du laser peuvent alors être immédiatement identifiés. Avec les modèles des deux composants du dispositif, une triangulation précise peut être effectuée.

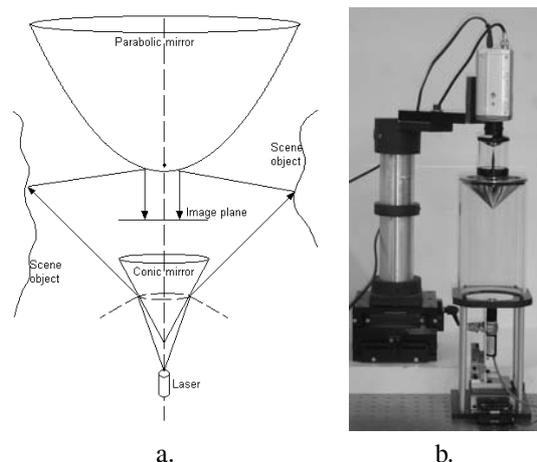


FIG. 1 – a. Schéma de la caméra omnidirectionnelle catadioptrique avec un projecteur de lumière structurée incorporé. b. Le prototype réalisé.

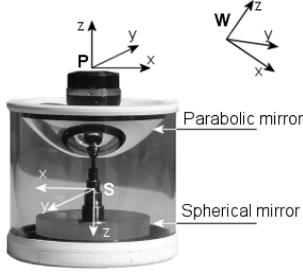


FIG. 2 – La partie réfléchissante qui compose la caméra omnidirectionnelle contient un miroir parabolique et un miroir sphérique. Les trois systèmes de coordonnées sont :  $W$ , le s.c. du monde;  $P$ , le s.c. du miroir parabolique et  $S$ , le s.c. du miroir sphérique

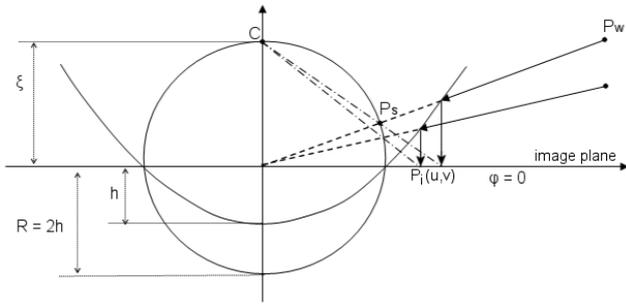


FIG. 3 – Formation de l'image en utilisant l'équivalence avec la projection sphérique d'un capteur catadioptrique avec PVU.

Le calibrage du dispositif se fait en deux étapes : premièrement on calibre la caméra, puis on calibre le projecteur laser.

### 3.1 Modélisation de la caméra omnidirectionnelle

L'objectif optique de la caméra utilisée est fabriquée à l'aide d'un miroir parabolique convexe et d'un miroir sphérique concave (Figure 2).

On peut considérer que cette double réflexion est équivalente à un miroir parabolique et d'une lentille télécentrique. Pour simplifier notre modèle, nous considérons que cette caméra possède un PVU. [2] et [5] ont montré que les caméras ayant un PVU peuvent être modélisées à l'aide de la projection sur une sphère suivie d'une projection à partir d'un point situé au dessus du centre de la sphère sur un plan (plan image). C'est le théorème de l'équivalence. Dans le cas d'un miroir parabolique, cette équivalence est illustrée graphiquement sur la figure 3. Les coordonnées  $(u,v)$  obtenues par la réflexion du miroir parabolique et celles obtenues en projetant l'intersection  $P_s$  du rayon lumineux avec la sphère à partir du point  $C$ , sont identiques.

Pour un point du monde  $P_w = [x_w, y_w, z_w]$ , le point  $P_s = [x_s, y_s, z_s]$  est l'intersection du rayon émis par le point  $P_w$  avec la sphère de rayon  $R = 2h$  (voir Figure 2). On peut écrire l'équation (1) où tous les points sont représentés par

rapport au système de coordonnées de la sphère.

$$\begin{cases} x_s = \lambda \cdot x_w \\ y_s = \lambda \cdot y_w \\ z_s = \lambda \cdot z_w \end{cases} \quad (1)$$

Puisque les points appartiennent à la sphère, l'équation (2) est aussi valide.

$$x_s^2 + y_s^2 + z_s^2 = R^2 \quad (2)$$

La projection perspective de  $P_s$  sur le plan image depuis un point  $C = [0, \xi]$  produit un point  $P_i = [x, y]$  avec les coordonnées exprimées dans l'équation (3). Le plan image est situé à une distance  $\varphi$  de l'axe horizontal de la sphère. Dans le cas du parabolode,  $\xi = R$  et  $\varphi = 0$ .

$$\begin{cases} \frac{x_s}{\xi - z_s} = \frac{x}{\xi + \varphi} \\ \frac{y_s}{\xi - z_s} = \frac{y}{\xi + \varphi} \end{cases} \quad (3)$$

Si on considère les paramètres intrinsèques de la caméra  $(\alpha_u, \alpha_v, u_0, v_0)$ , on obtient alors les coordonnées des points de l'image exprimés en pixels (Equation 4).

$$\begin{cases} u = \alpha_u x + u_0 = \frac{\alpha_u (\xi + \varphi) x_w}{\xi \sqrt{x_w^2 + y_w^2 + z_w^2} - z_w} + u_0 \\ v = \alpha_v y + v_0 = \frac{\alpha_v (\xi + \varphi) y_w}{\xi \sqrt{x_w^2 + y_w^2 + z_w^2} - z_w} + v_0 \end{cases} \quad (4)$$

Les paramètres du modèle sont :

- $\xi$ , qui dépend de l'excentricité
- $\varphi$  qui est fonction de l'excentricité et de l'échelle
- et  $\alpha_u, \alpha_v, u_0, v_0$  qui sont les paramètres intrinsèques de la caméra.

Si on considère le cas général où les points de la mire sont donnés dans un repère du monde (différent de celui de la caméra), alors il faut rajouter  $r_X(\phi)$ ,  $r_Y(\theta)$ ,  $r_z(\varphi)$ , et  $t_x, t_y, t_z$ , les six paramètres extrinsèques qui forment respectivement l'orientation et la translation entre le système de coordonnées du monde et celui de la caméra.

### 3.2 Modélisation du projecteur omnidirectionnel

Le patron laser circulaire est projeté sur le miroir conique qui le reflète sur les murs de la mire de calibrage. Contrairement à la caméra, le projecteur ne produit pas une image. Donc on ne peut pas établir les correspondances entre les points 3D et ceux de l'image. Les points lumineux de la scène sont vus par la caméra calibrée. Le fait que la caméra ait un PVU permet de calculer la direction de la source pour chaque point de l'image. Comme les plans de calibrage sont connus, on peut alors déterminer les positions des points laser. Plusieurs points appartenant au patron laser peuvent être utilisés pour calibrer le projecteur.

Dans un cas idéal où le laser est parfaitement aligné avec le miroir conique, la forme 3D formée par le patron laser peut être définie comme un cône parfait. Dans la réalité,

cet alignement parfait est très difficile à obtenir. De plus, la précision pour obtenir les points lumineux est limitée par la résolution de la caméra et par la précision du calibrage. Pour parer à ces problèmes, nous avons choisi une forme plus générale, la quadrique, pour modéliser la projection du laser omnidirectionnel. Considérons  $P_{wi}(x,y,z)$  les points laser sur la scène de coordonnées connues. La surface quadrique qui passe approximativement par tous ces points est présentée dans l'équation (5) où  $H$  est la matrice des paramètres et  $F$ , la matrice des termes libres. La matrice  $A$  peut être estimée par la méthode de la pseudo inverse (6). C'est une méthode simple pour calibrer le projecteur omnidirectionnel et plus rapide que les méthodes itératives. Cependant, son principal inconvénient réside dans le fait que la matrice  $H$  peut être singulière.

$$H \cdot A = F \quad (5)$$

$$A = (H' \cdot H)^{-1} \cdot H' \cdot F \quad (6)$$

Par conséquent, il faut trouver une méthode plus robuste pour estimer les paramètres de la quadrique générale.

On peut supposer, sans perte de généralité, que le système de coordonnées du monde est situé dans un coin de la mire de calibrage. Ainsi, les plans de calibrage sont perpendiculaires aux axes  $X$  et  $Y$  du repère de la mire. L'intersection de la quadrique avec ces plans donne lieu à des courbes décrites par une partie des paramètres de l'équation générale (les courbes sur les plans  $X$  et  $Y$  donnent respectivement une information sur les paramètres de la quadrique avec  $x = ct$  et  $y = ct$ ).

Pour la quadrique ayant la forme (7), ses intersections avec les plans  $X$  et  $Y$  sont présentées dans les équations respectives (8) et (9). Les paramètres des courbes pour chaque plan sont obtenus en ajustant la courbe aux points 2D avec une méthode itérative comme Levenberg-Marquardt. Tous les paramètres de la quadrique peuvent être trouvés en évaluant les équations (8) et (9).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}' \cdot \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}' \cdot \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix} + f = 0 \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} y \\ z \end{bmatrix}' \cdot \begin{bmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y \\ z \end{bmatrix}' \cdot \begin{bmatrix} \beta_2' \\ \beta_3' \end{bmatrix} + f' = 0 \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix}' \cdot \begin{bmatrix} a_{11} & a_{13} \\ a_{31} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix}' \cdot \begin{bmatrix} \beta_1' \\ \beta_2' \end{bmatrix} + f' = 0 \quad (9)$$

## 4 Résultats expérimentaux

### 4.1 Calibrage de la caméra omnidirectionnelle

Le calibrage est réalisé en utilisant des points 3D avec les coordonnées connues et disposées sur un plan placé successivement autour de la caméra omnidirectionnelle. Nous avons utilisé 285 points répartis de manière régulière sur une mire de calibrage placée autour du dispositif. La mire a été fixée successivement à des positions connues sur une table métrologique. Chaque position d'un point est connue par rapport au système de référence du monde et la distance entre un point et chacun de ses voisins est de 6cm. La hauteur de la mire de calibrage est de 80cm.

Une méthode semi-automatique est utilisée pour l'extraction des points. La position d'un point de calibrage est estimée avec une précision sub-pixelique en calculant pour chaque région noire de la mire son centre de gravité. Ensuite on extrait automatiquement les coordonnées de plus de cent points après avoir identifié sur l'image la position de quelques uns d'entre eux.

Le montage utilisé pour le calibrage est présenté dans la Figure 4.a et l'image perçue par la caméra est montrée dans la Figure 4.b.

Les paramètres de la caméra obtenus lors du calibrage sont présentés dans le Tableau 1. L'erreur de calibrage est calculée comme la moyenne de l'erreur entre les points de l'image originale et les re-projections des points 3D avec le modèle issu du calibrage. L'erreur moyenne est  $\mu = 2.2$  pixels et l'écart type est  $\sigma = 2.542$ . L'erreur de calibrage, montrée sur la Figure 5.b, est minimisée à l'aide de la méthode itérative Levenberg-Marquardt. L'algorithme de minimisation est initialisé en utilisant les valeurs approximatives des paramètres mesurés manuellement sur le prototype.

La sphère d'équivalence est présentée dans la Figure 5.a. Les points gris sont les projections des points de calibrage sur la sphère tandis que les cercles marquent les positions de quelques points du rayon laser présents dans l'image vue par la caméra.

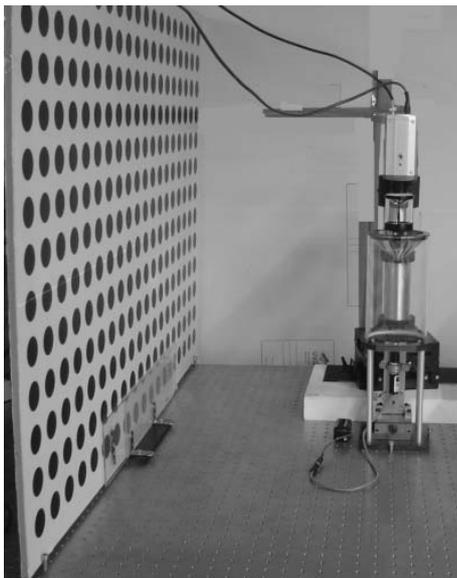
On remarque que les valeurs obtenues pour les paramètres  $\xi > 1$  et  $\varphi > 0$  montrent que la combinaison de deux miroirs utilisés en association avec la caméra n'est pas exactement équivalente à un miroir parabolique.

### 4.2 Calibrage du projecteur omnidirectionnel

Le calibrage est divisé en deux étapes pour diminuer le nombre de paramètres à minimiser simultanément ce qui facilite la convergence de l'algorithme de minimisation. Il faut remarquer que les paramètres obtenus dans les équations (8) et (9) sont à l'échelle et que l'on doit les normaliser afin de les utiliser dans l'équation de la quadrique. Les paramètres  $a_{12}$  et  $a_{21}$  correspondent à la conique obtenue par l'intersection du plan  $XY$  avec la quadrique.

TAB. 1 – Les paramètres obtenus par le calibrage (paramètres intrinsèques en pixels, angles en degrés, translations et paramètres du miroir en mm). Erreur moyenne : 2.2 pixels.

$\xi$	$\varphi$	$\alpha_u$	$\alpha_v$	$u_0$	$v_0$	$r_x$	$r_y$	$r_z$	$t_x$	$t_y$	$t_z$
1.06	-9.64	-32.53	33.24	429.51	292.72	0.02	0.01	-0.009	-26.45	-0.82	-754.1

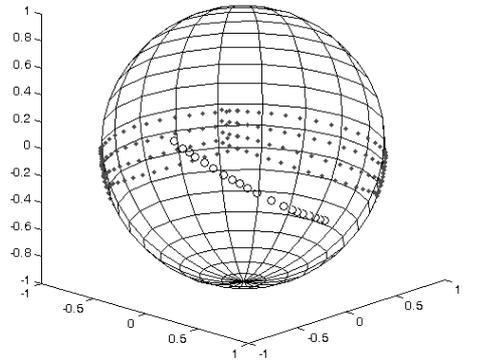


a.

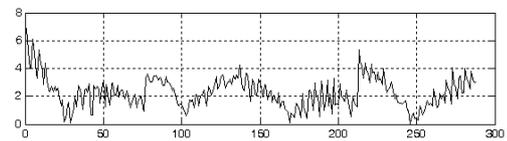


b.

FIG. 4 – a. Photographie du système de calibrage. b. Image acquise par la caméra omnidirectionnelle.



a.



b.

FIG. 5 – a. Image des points de calibration et du laser sur la sphere équivalente. b. Erreur pour 285 points de calibration, mesurée en pixels.

La robustesse du résultat du calibrage au bruit, a été testée en utilisant la simulation. On a généré des points représentant l'intersection d'un cône avec les murs d'une boîte de calibrage. Les points ont été perturbés avec un bruit gaussien. Le bruit utilisé a une variance de  $\sigma$ , cela signifie que la variation autour du point idéal a une distribution qui varie entre 0 et  $3\sigma$ . La quadrique générale, modélisant la réflexion du patron laser circulaire dans le miroir conique, a été estimée à l'aide des points 3D et sa forme est montrée en Figure 6.a.

L'erreur considérée est la valeur résiduelle obtenue en remplaçant les points 3D dans l'équation de la quadrique. Le calibrage a été réalisé cent fois, dix fois pour chaque valeur du  $\sigma = [1..10]$ , et nous avons calculé les moyennes des valeurs absolues de l'erreur. L'évolution de l'erreur en fonction du bruit est présentée en Figure 6.b.

On peut voir que, même avec un bruit de variance élevée, l'algorithme se comporte bien. En effet, dans le cas de  $\sigma = 10$  les coordonnées des points 3D peuvent varier avec une amplitude de 3cm. Comme la dimension du cube de calibrage sur lequel se trouvent les points est de 50cm, il est normal que l'erreur devienne trop importante. Généralement on utilise des points avec un bruit maximum de  $\sigma = 3$ .

Le miroir conique utilisé pour construire le prototype du laboratoire a une hauteur  $h = 4.4$  cm et l'angle d'ouverture du cône est  $\beta = 52$  degrés. Le laser projette un cône

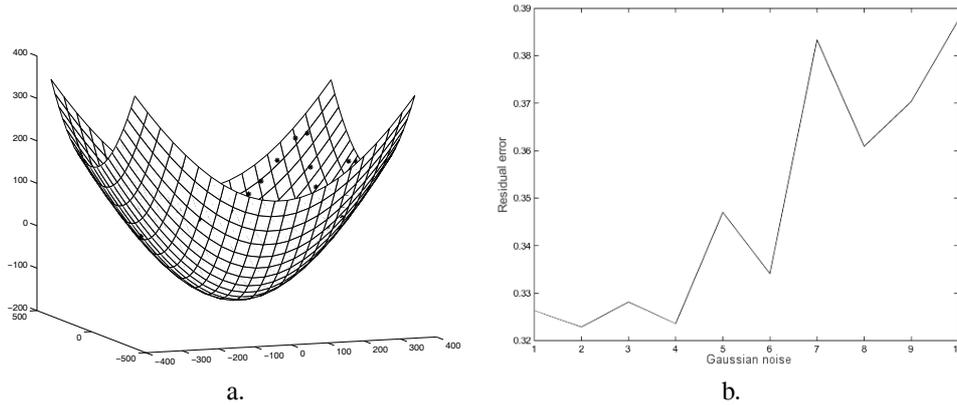


FIG. 6 – a. Forme quadratique qui passe par les points de calibration. Dans le cas présenté les points ont été entachés par du bruit gaussien avec  $\sigma = 5$  b. L'évolution de l'erreur en fonction du bruit

circulaire avec un angle d'ouverture  $\alpha = 11.4$  degrés. La relation entre les deux angles d'ouverture satisfait la relation  $\beta \approx 0.5(\alpha + \pi/2)$ . Le laser est réfléchi le long d'un plan perpendiculaire à l'axe de rotation du cône, voir Figure 7.a. Dans ce cas, on approxime la réflexion du laser par un plan :  $ax + by + cz + d = 0$ , voir Figure 7.b.

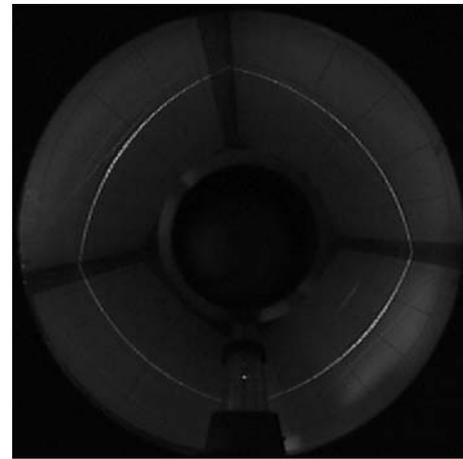
Cette configuration améliore la précision d'approximation du plan laser. Puisque la projection du patron laser sur les quatre plans de calibration forme des droites, perçues comme des arcs elliptiques dans le plan image, nous avons trouvé pour chaque plan l'ellipse correspondante dans l'image. De cette façon on obtient un grand nombre de points avec une précision subpixelique.

### 4.3 Perception de la profondeur

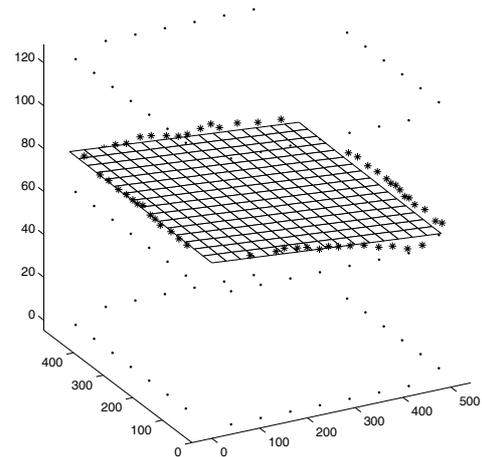
La profondeur est calculée par triangulation. La projection laser sur la scène est facilement détectée sur l'image omnidirectionnelle. Puisque les points lumineux appartiennent, en même temps, à la quadrique et aux rayons qui passent par le point focal de l'image on peut calculer leurs positions 3D.

Pour évaluer la précision du calcul des distances nous avons mis une forme plane dans le champ de vue du dispositif à des positions connues. Avec les images obtenues on a estimé la position de la surface et on a calculé l'erreur entre la position réelle et la position fournie par le dispositif.

Les images de cette expérimentation sont présentées dans la Figure 8.a. La profondeur a été calculée dans la région d'intérêt et les points 3D sont modélisés par la forme montrée dans la Figure 8.b. et c où les points indiquent les points 3D reconstruits. Les quatre plans placés autour du dispositif sont les plans du calibration. Ces plans n'existaient pas physiquement au moment de la prise des images mais ils ont été placés pour servir de référence pour le lecteur. La hauteur de chacun d'entre eux est de 180mm et la largeur de 1080mm. Les distances mesurées et réelles sont présentées dans le Tableau 2.



a.



b.

FIG. 7 – a. Projection du patron laser. b. Forme plane qui passe approximativement par les points du laser. Les trois rectangles pointillés sont les points de la mire de calibration utilisée pour la caméra.

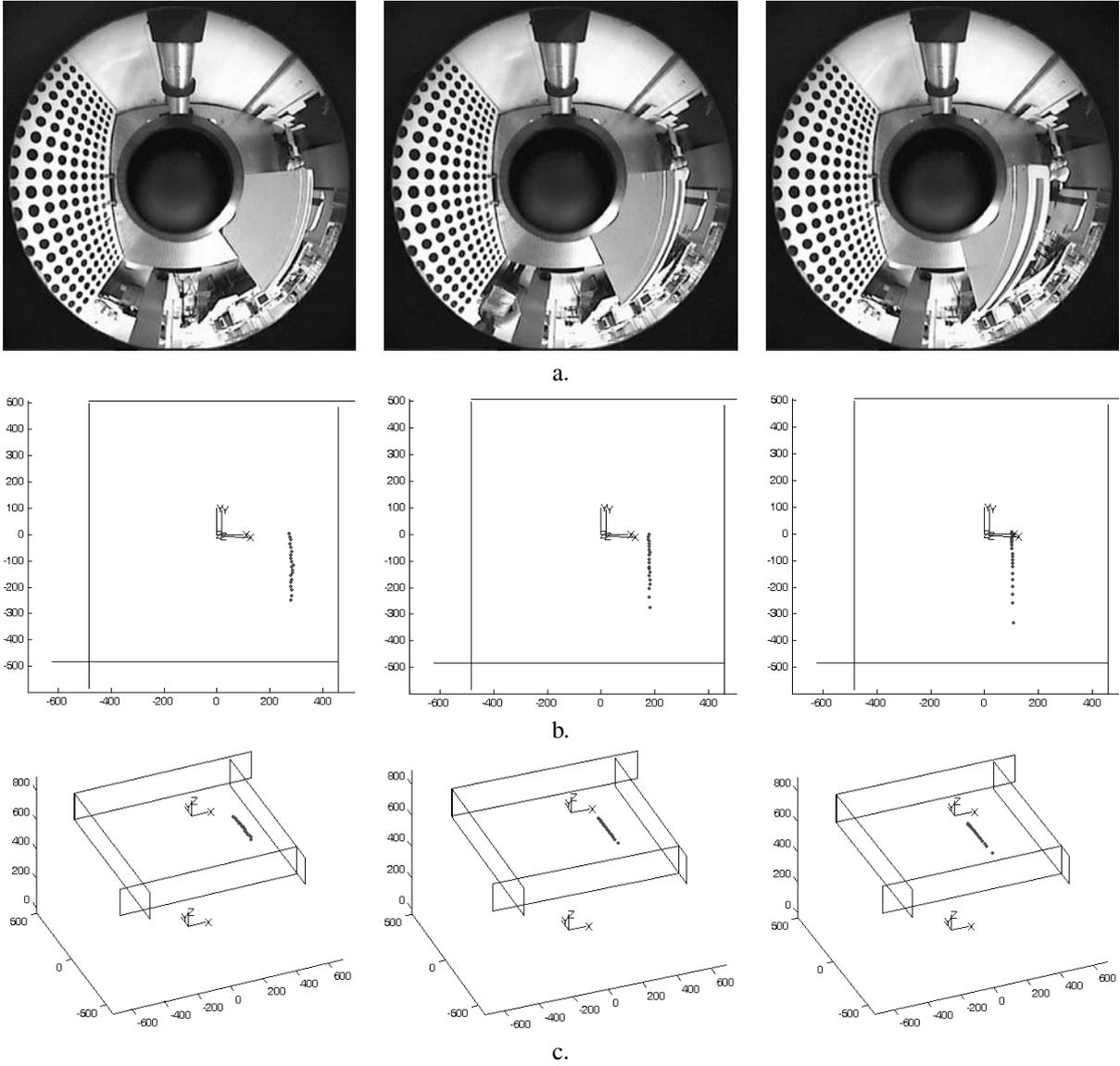


FIG. 8 – Calcul de la profondeur 3D pour trois images omnidirectionnelles. a. Les images perçues par le capteur b. Vue de dessus c. Vue de côté. Les points indiquent les points 3D reconstruits.

TABLE 2 – La profondeur de la scène a été calculée pour trois plans localisés à des distances différentes par rapport au dispositif. Les résultats sont en millimètres.

Distance mesurée	Erreur
279.4	4.64
177.8	1.96
101.6	1.63

## 5 Conclusions

Dans cet article nous avons présenté les caractéristiques et la modélisation géométrique du prototype d'un capteur visuel panoramique capable d'estimer la profondeur de l'environnement et sa modélisation. Les deux composants omnidirectionnels qui forment le dispositif ont été calibrés et le modèle résultant est utilisé pour estimer la profondeur de la scène. Les résultats obtenus sont encourageants et prouvent que le dispositif peut être utilisé dans la navigation des robots mobiles ainsi que d'autres applications. Nos efforts se portent actuellement sur l'amélioration de la précision du système en soignant toutes les différentes étapes. Nous développerons notamment un algorithme d'estimation (paramètres intrinsèques et position relative par rapport à la caméra) du laser et du cône. L'utilisation des images avec un champ de vue de 360 degrés et l'utilisation de l'information de la profondeur peuvent s'avérer très utiles pour la navigation des robots et notamment pour la cartographie automatique. Le traitement des images est actuellement réduit à l'extraction du profil issu de la projection du patron laser. Nous envisageons également d'enrichir les traitements d'image (la segmentation) afin de tirer davantage d'informations de l'image omnidirectionnelle et de pouvoir procéder à une cartographie plus riche.

## Références

- [1] S. Baker and S.K. Nayar. A theory of catadioptric image formation. *IEEE Int. Conf. on Computer Vision*, pages 35–42, 1998.
- [2] K. Daniilidis C. Geyer. A unifying theory for central panoramic systems and practical applications. *Sixth European Conference on Computer Vision*, pages 445–461, June 2000.
- [3] M. Fiala and A. Basu. Feature extraction and calibration for stereo reconstruction using non-svp optics in a panoramic stereo-vision sensor. In *Workshop on Omnidirectional Vision*, pages 79–86, 2002.
- [4] J. Gaspar, C. Decco, J. Jr. Okamoto, and J. Santos-Victor. Constant resolution omnidirectional cameras. In *Third Workshop of Omnidirectional Vision*, pages 27–34, 2002.
- [5] C. Geyer and K. Daniilidis. Equivalence of catadioptric projections and mappings of the sphere. In *First Workshop of Omnidirectional Vision*, pages 91–96, 2000.
- [6] J. Gluckman and S.K. Nayar. Planar catadioptric stereo: Geometry and calibration. *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, 1:22–28, 1999.
- [7] J. Gluckman and S.K. Nayar. Rectified catadioptric stereo sensors. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(2):224–236, February 2002.
- [8] R.A. Hicks and R.K. Perline. Geometric distributions for catadioptric sensor design. In *IEEE Computer Society's Computer Vision and Pattern Recognition*, volume 1, pages 584–589, 2001.
- [9] D. Khadraoui, Martinet P. Gallice J Motyl, G., and F. Chaumette. Visual servoing in robotics scheme using a camera/laser-stripe sensor. *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, 12(5):743–750, October 1996.
- [10] S. S. Lin and R. Bajcsy. The true single view point (svp) configuration for omni-directional view catadioptric system using cone mirror. Technical report ms-cis-00-24, Computer and Information Science Department, University of Pennsylvania., Philadelphia, USA, 11 2001.
- [11] S.A. Nene and S.K. Nayar. Stereo with mirrors. *Sixth International Conference on Computer Vision*, pages 1087–1094, 4-7 Jan. 1998.
- [12] R. Orghidan, J. Salvi, and E.M. Mouaddib. Calibration of a structured light-based stereo catadioptric sensor. *Workshop on Omnidirectional Vision*, IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition(7), 2003.
- [13] Remote Reality. <http://www.remotereality.com/>.
- [14] J. Salvi, J. Batlle, and E. Mouaddib. A robust-coded pattern projection for dynamic 3d scene measurement. *Pattern Recognition Letters*, (19):1055–1065, September 1998.
- [15] J. Salvi, J. Pagès, and J. Batlle. Pattern codification strategies in structured light systems. *Pattern Recognition*, 37(4):827–849.
- [16] Y. Yagi. Omnidirectional sensing and its applications. *IEICE Trans on Information and Systems*, E82-D(3):568–578, 1999.