

Mise en correspondance de droites verticales dans les images de stéréovision omnidirectionnelle

Vertical Line Matching for Omnidirectional Stereovision Images

Guillaume Caron

El Mustapha Mouaddib

Laboratoire Modélisation Information et Systèmes (MIS)
Université de Picardie Jules Verne

7, rue du Moulin Neuf
80000 Amiens
{guillaume.caron, mouaddib}@u-picardie.fr

Résumé

Ces travaux portent sur la localisation d'un robot mobile en environnement intérieur, en utilisant un capteur de stéréovision omnidirectionnelle. Ce capteur est composé de quatre miroirs paraboliques de révolution et d'une caméra orthographique, donnant quatre images de la même scène. Deux miroirs suffiraient pour la stéréovision mais en utiliser quatre apporte de la redondance. Nous proposons d'exploiter les images de droites verticales. Ce papier présente une nouvelle méthode de mise en correspondance de droites dans les quatre images. Contrairement aux approches existantes, nous avons pris en compte l'existence des quatre sous-images dans la conception de cette méthode afin d'exploiter la redondance. Ceci a conduit à l'élaboration d'un algorithme original combinant reconstruction et estimation de pose des lignes verticales de l'environnement 3D. Des résultats expérimentaux seront présentés pour valider l'approche.

Mots Clef

vision omnidirectionnelle, localisation

Abstract

We are investigating the mobile robot indoor localization and environment mapping using an omnidirectional stereovision sensor. It uses four parabolic mirrors and an orthographic camera, giving four images of the same scene. At least, only two mirrors are needed. Using four mirrors gives redundancy. We propose to exploit the images of vertical lines. This paper presents a new method in order to match these lines in the four images. Contrary to existing approaches, we took into account the four sub-images existence in the design of this method, in order to exploit redundancy. This brought an original algorithm combining matching and pose estimation of vertical lines from the 3D

environment. Experimental results will be presented to validate this approach.

Keywords

omnidirectional vision, localization

1 Introduction

La localisation de robot est une tâche complexe et la vision est un bon outil pour la traiter. Bien sûr, comme dans les autres approches, des problèmes de précision ou de rigidité des systèmes existent. Mais grâce aux travaux des dernières années, ces problèmes tendent à diminuer. Classiquement, la manière la plus simple d'aborder la localisation d'un robot par la vision est d'utiliser une caméra perspective. Pour obtenir la profondeur, il est possible d'utiliser les capteurs de stéréovision, généralement composés de deux caméras, à la manière du système de vision humain.

La vision omnidirectionnelle a récemment commencé à être exploitée car elle présente l'énorme avantage d'avoir un très large champ de vue, pouvant atteindre 360°. Pour apporter un tel champ de vue, plusieurs dispositifs ont été conçus, allant de lentilles spéciales aux capteurs catadioptriques. L'intérêt est de pouvoir percevoir une zone de l'environnement pendant "longtemps".

Nous avons ici mis en évidence, d'une part, la capacité d'estimation de profondeur en stéréovision et d'autre part, l'intérêt certain d'un champ de vue panoramique. Par conséquent, associer ces deux technologies est potentiellement intéressant.

Les premiers travaux en stéréovision omnidirectionnelle ont été réalisés à la fin des années 1980, par Nayar *et al.* dans [1] qui ont développé SPHEREO, un capteur à une caméra et deux miroirs sphériques. Plus tard, Gluckman *et al.* ont présenté dans [2] un système composé de deux caméras catadioptriques. Mais généralement, aussi bien les caractéristiques géométriques que chromatiques sont un peu dif-

férentes entre deux caméras. Par conséquent, une approche intéressante est de développer un système stéréo-omni utilisant une seule caméra, à la manière de SPHEREO. Le problème est alors concentré dans la conception des miroirs. De récents travaux ont utilisé l'inter-réflexion de miroirs, comme Jang *et al.* dans [3], en concevant un système avec un miroir plan et deux paraboliques. Les miroirs sont disposés à chaque extrémité d'un cylindre d'environ 17 cm de longueur. L'avantage majeur de ce capteur réside dans la colinéarité des droites épipolaires de points correspondants. Mais la profondeur de champ est un obstacle aux applications temps-réel. Une autre manière de procéder est de disposer les miroirs à la même distance de la caméra.

Le capteur que nous utilisons est différent de celui de Jang *et al.* puisque la caméra orthographique est orientée vers des miroirs paraboliques placés sur le même plan, parallèle au plan image. Mouaddib *et al.* ont étudié différentes configurations dans [4] et Dequen *et al.* ont proposé une méthode d'optimisation [5] pour déterminer la meilleure configuration, en terme de champ de vue, de redondance et de précision. La configuration optimale est de placer quatre miroirs en carré sur le même plan (Fig. 1). L'intérêt de cette configuration est de percevoir un quelconque point de l'espace, dans le champ de vue du capteur, par au moins trois miroirs. De plus, la profondeur de champ est la même pour tous les miroirs.

Le potentiel de ce capteur est donc d'estimer la profondeur de tout point de l'espace dans un large champ de vue. La robustesse attendue est aussi élevée grâce à la redondance qui devrait permettre de réduire les incertitudes. Quant à la précision de l'estimation, elle dépendra de la résolution de l'image, qui, dans le cas présent est répartie en quatre zones utiles, ainsi que de la précision du calibrage.

Dans ce papier, nous allons développer une méthode basée sur la détection, l'appariement et la triangulation de droites radiales sur chaque miroir afin d'estimer la position du robot relativement aux droites verticales. Ceci est possible car l'axe de la caméra est perpendiculaire au sol. Nous travaillerons avec ces droites radiales car elles sont omniprésentes dans les environnements structurés.

L'appariement de droites a été étudié au cours des dernières décennies pour tout type de vision. Dans la vision perspective, les segments de droites peuvent être mis en



FIG. 1 – Les miroirs du capteur.

correspondance individuellement en se basant sur des attributs géométriques, comme l'orientation ou la longueur. L'approche qui consiste à suivre une droite procède généralement par un critère de proximité spatiale, angulaire, etc. D'autres travaux utilisent l'information photométrique pour évaluer la corrélation des voisinages par la somme des écarts au carré (SSD), la corrélation centrée normalisée (NCC) ou des histogrammes de l'image. Une autre façon d'aborder ce problème est d'apparier des groupes de droites. Ce type d'appariement est généralement basé sur la théorie des graphes. Certaines de ces approches ont été utilisées pour la vision omnidirectionnelle et sont listées par Scaramuzza *et al.* dans [6] et [7] où ils présentent une méthode de mise en correspondance basée sur une multitude d'histogrammes orientés autour des droites radiales.

En stéréovision, la connaissance de la distance (aussi appelée baseline) entre l'image de droite et celle de gauche apporte plus d'information géométrique. Un système complètement calibré utilisant la géométrie épipolaire peut réduire l'espace de recherche. Ces propriétés ont été utilisées par Schmid *et al.* dans [8]. Peu après, ces contraintes épipolaires ont été utilisées [9] pour raffiner les droites, c'est-à-dire fusionner et allonger les segments colinéaires, après une première étape de mise en correspondance.

La contribution majeure de cet article est dans la mise en correspondance des droites radiales en exploitant la géométrie de notre capteur. Notre méthode d'appariement en environnement intérieur vise à être robuste et assez flexible pour prendre en compte les quatre sous-images.

Le papier expose en quoi le traitement des droites radiales est intéressant ainsi que le critère que nous nous proposons d'étudier. Ensuite, nous proposerons un calibrage adapté et présenterons les traitements d'image. Après cela, la nouvelle méthode de mise en correspondance sera abordée. Des résultats expérimentaux sur images réelles seront présentés et montreront la validité de l'approche.

2 Notre approche

2.1 L'idée principale

L'objectif est de faire de l'auto-localisation de robot mobile en exploitant le capteur de stéréovision omnidirectionnelle décrit ci-dessus (Fig. 1). Le robot évolue dans un environnement intérieur (murs, portes, angles droits, etc). Nous proposons d'utiliser les droites verticales de l'environnement pour localiser le robot car elles ont la propriété intéressante d'être projetées en droites radiales sur les miroirs du capteur. Cette affirmation est vérifiée par le fait que le capteur est composé de miroirs paraboliques de révolution et d'une caméra orthographique dont l'axe est vertical, donc parallèle aux droites verticales de l'espace. Pour une droite verticale, toutes les radiales correspondantes s'intersectent en la position de cette droite. Détecter, apparier et trianguler ces radiales est notre objectif.

Dès lors qu'on s'intéresse uniquement aux radiales, on transforme le problème en un problème 2D au lieu de 3D. On peut donc raisonner sur un plan, le plan image.

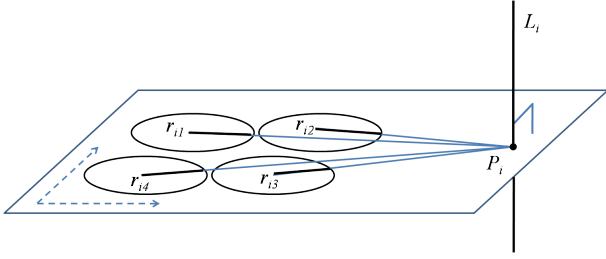


FIG. 2 – Schéma de la géométrie de projections des droites verticales sur les miroirs.

Si on considère une droite verticale (Fig. 2), nous avons quatre radiales pour une prise de vue. La redondance permet de vérifier la cohérence géométrique (la validité) de la mise en correspondance.

En effet, la projection de toute autre droite verticale sur les miroirs présentera un écart angulaire par rapport aux premières radiales (pour au moins trois d'entre elles). Ceci est évident car les radiales sont différentes. Donc en partant d'une radiale (nous savons qu'elle intersecte la droite verticale), nous souhaitons trouver la droite verticale qui engendre l'erreur angulaire minimale, entre la reprojektion et la détection, sur les autres miroirs.

Pour ce faire, nous devons définir un critère global basé sur l'erreur angulaire. Soit L_i , une droite verticale et P_i le point d'intersection de L_i avec le plan image (le plan des miroirs ou même le sol, puisque ces plans sont parallèles). r_{ij} est la radiale issue de la projection de L_i sur le miroir j et θ_{ij} est son angle dans ce miroir (Fig. 2). Définissons aussi Δ_{ij} , la demi-droite partant du centre du miroir j et portant r_{ij} . Le critère global E (Eq. 1) est une somme d'erreurs angulaires où θ_{ij} est l'angle de la radiale réelle r_{ij} et θ_{kj} , l'angle d'une r_{kj} , projection d'une quelconque droite verticale L_k .

$$E = \sum_j |\theta_{ij} - \theta_{kj}| \quad (1)$$

Avec ce critère, si la droite verticale "choisie" est la bonne, E sera nulle et positive sinon. L'idée est d'étudier les variations de E par rapport à la distance au miroir source sur Δ_{ij} afin d'exhiber une relation pour le processus d'appariement.

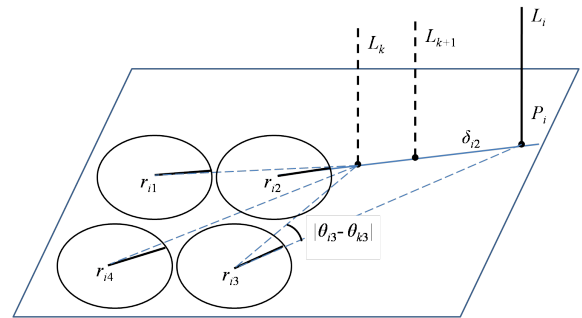
2.2 Étude des variations des erreurs de reprojektion en fonction de la distance

Commençons par aborder un cas idéal avec une seule droite verticale L_i qui est parfaitement projetée, en une seule radiale par miroir (Fig. 3(a)). A partir de la radiale d'un miroir, l'idée est d'échantillonner Δ_{ij} , sur une distance allant du robot à la taille maximale de l'environnement. En effet, notre hypothèse est que L_i intersecte Δ_{ij} quelque part. Cet échantillonnage va donner un ensemble de positions candidates P_k de la droite verticale de l'environnement. Chaque verticale L_k passant par ces points est alors projetée sur les

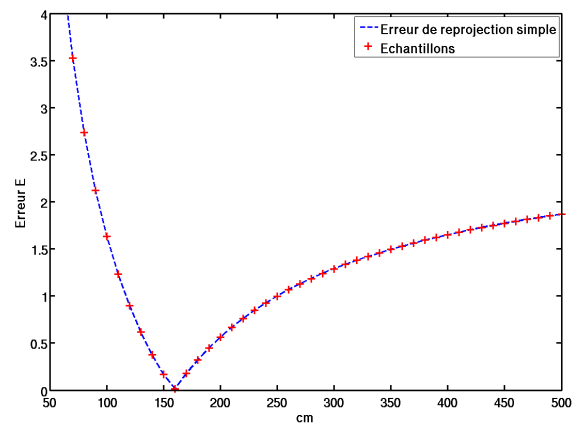
trois autres miroirs et nous calculons autant d'erreurs globales E qu'il y a d'échantillons. La figure 3(a) illustre le processus avec quelques échantillons pour plus de clarté.

La figure 3(b) montre l'évolution de E en fonction de la position de L_k . Commençant proche du robot et s'en éloignant, la courbe décroît jusqu'à un minimum et croît après. La courbe a la forme idéale pour trouver la position de l'erreur minimum. Cette position sera atteinte près du point réel, même si le pas d'échantillonnage est important. Mais afin d'utiliser le nombre minimal d'échantillons tout en gardant une bonne précision, on interpole localement la courbe autour du minimum par une fonction quadratique. L'annulation de la dérivée de cette fonction nous apporte la distance optimale, *i.e.* la distance où l'erreur de reprojektion est minimale. Cela signifie que reprojeter la ligne verticale passant par ce point sur chaque miroir donne les droites radiales colinéaires aux droites détectées. Pour la simulation présentée dans la figure 3(b), la distance entre le point réel P_i et le centre du capteur est de 167,70 cm et la distance optimale calculée est de 168,95 cm. Il y a donc une erreur de 0,7% due à l'échantillonnage et à l'approximation, pour un échantillonnage régulier de 10 cm.

Mais les cas réels comportent plus de radiales détectées qui peuvent être bruitées ou incomplètes. Etudions donc ces différents cas de figure pour évaluer la robustesse de l'appariement aux problèmes de détection.

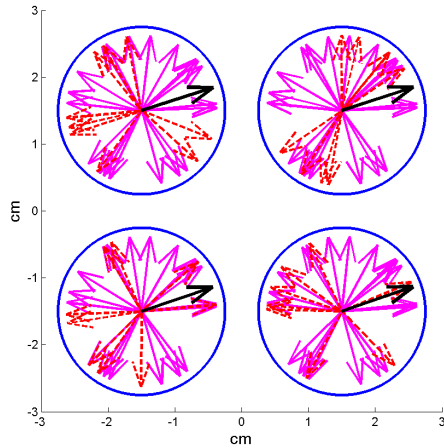


(a) Cas idéal

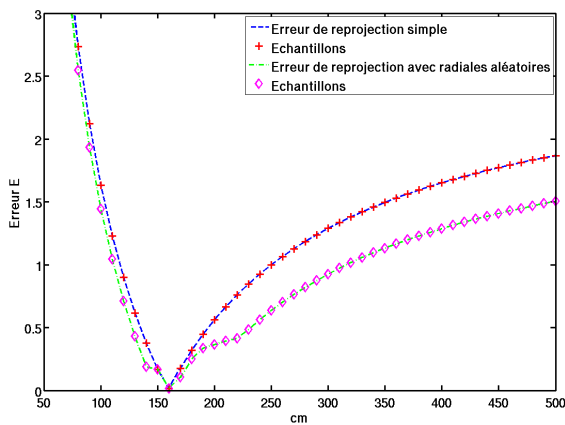


(b) La courbe dans le cas idéal

FIG. 3 – Cas idéal : une radiale par miroir.



(a) Cas complexe



(b) La courbe dans le cas complexe

FIG. 4 – Cas complexe : beaucoup de radiales.

La figure 4(a) présente un cas plus proche de la réalité avec plusieurs radiales détectées. Nous avons généré aléatoirement un ensemble de droites verticales, puis l'avons projeté sur les quatre miroirs. Parmi ces verticales, on retrouve aussi la même droite L_i que dans le cas idéal afin de comparer les courbes. A cela s'ajoute d'autres radiales, générées aléatoirement et indépendamment les unes des autres, afin de simuler des radiales "parasites". En suivant donc le même processus que celui qui a été présenté précédemment, quand on projette une des L_k , venant d'un échantillon de Δ_{ij} , sur les miroirs, on calcule l'erreur de reprojection par rapport à la radiale détectée la plus proche. La distance optimale résultante est exactement la même que dans le cas idéal, même si, dans certains cas, la courbe (Fig. 4(b)) est légèrement différente, à cause de radiales proches. Cependant, dans tous les cas, les bonnes radiales sont appariées.

Pour s'approcher de plus en plus de la réalité, nous avons aussi ajouté un bruit angulaire aléatoire (entre $-0,5^\circ$ et $+0,5^\circ$) aux radiales détectées, ce qui mène à un changement de la courbe (Fig. 5). Dans ce cas, le minimum de la

courbe, change aussi, il peut être plus proche ou plus loin du capteur mais aussi, l'erreur de reprojection devient un peu plus importante. Malgré cela, les bonnes radiales sont mises en correspondance.

Le dernier cas à étudier est le cas de la radiale manquante. Les radiales correspondantes peuvent être détectées dans trois miroirs ou moins et pas dans les autres. Dans ce cas, le risque est de faire de faux appariements. Si la radiale manquante est isolée, l'erreur angulaire de reprojection sera très forte (Fig. 6(a)), ce qui permet de définir un seuil T au dessus duquel, un minimum de courbe est considéré trop élevé pour identifier une réelle position de droite verticale. Dans les autres cas, la courbe est monotone, ce qui signifie qu'il n'y a pas de droite verticale possible dans l'intervalle de recherche.

Cependant, puisque nous avons mentionné précédemment qu'utiliser quatre ou même trois droites pour trianguler est plus intéressant que deux, il est possible d'éliminer les radiales du miroir engendrant toujours la plus grande erreur. Pour traiter ce problème, après avoir trouvé le minimum de la courbe pour la distance optimale, on teste la valeur correspondante de E avec le même seuil T et si E lui est supérieur, l'algorithme s'intéresse de plus près aux erreurs angulaires individuelles de chaque L_k projetées sur les quatre miroirs. Si un miroir a toujours l'erreur angulaire maximale, il est éliminé et chaque erreur angulaire associée à ce miroir est ôtée du calcul de chaque E . Après cela, une nouvelle courbe des erreurs E en fonction des distances le long de Δ_{ij} est construite mais en ne prenant en compte que trois miroirs. La distance optimale est alors calculée et si l'erreur associée E est inférieure à T , les trois radiales correspondantes sont appariées. Par exemple, le cas rejeté de la figure 6(a), après avoir été traité pour rejeter le miroir engendrant toujours l'erreur maximale, donne la courbe de la figure 6(b). Enfin, si après ce traitement, la courbe a encore une fois un minimum supérieur au seuil T , ou est monotone, la mise en correspondance échoue. Ceci est possible si plus d'une radiale r_{ij} est manquante pour une L_i donnée.

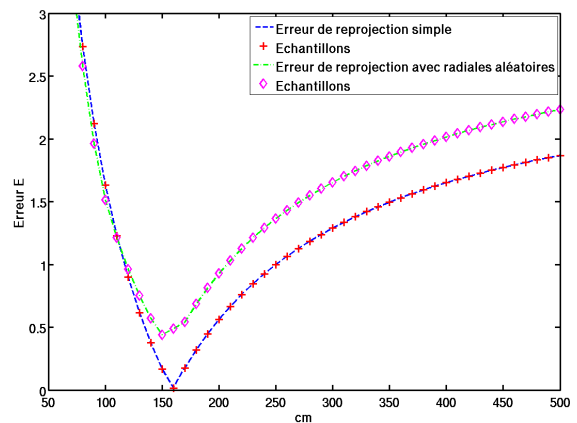
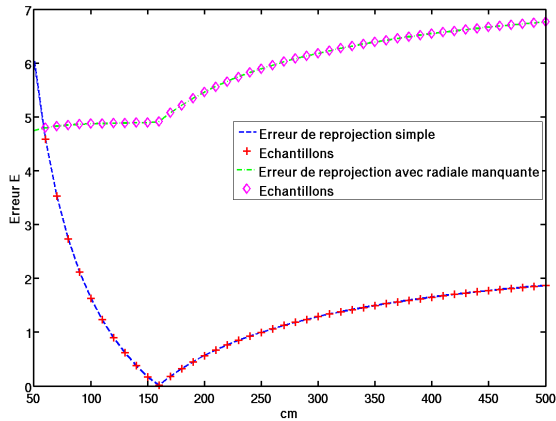
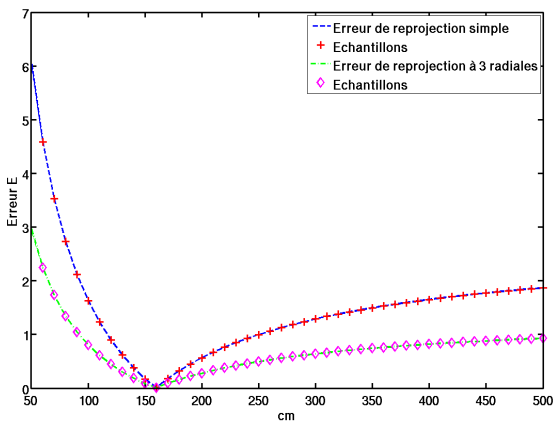


FIG. 5 – La courbe dans le cas bruité.



(a) La courbe dans le cas d'une radiale manquante



(b) Cas identique (mêmes radiales) mais en éliminant un miroir

FIG. 6 – Le cas le plus complexe avec une radiale manquante.

2.3 Triangulation

Après avoir mis en correspondance les radiales, nous voulons retrouver la position P_i de la droite verticale, *i.e.* l'intersection de la droite verticale et du plan image ou du sol. Mais à cause des imperfections du miroir ou d'imprécisions dues à l'échantillonnage de l'image, d'importantes incertitudes peuvent apparaître sur une droite verticale loin du capteur. C'est pourquoi utiliser plusieurs droites pour trouver un point d'intersection est intéressant. Nous utilisons les quatre radiales (ou trois, dans le cas où un miroir ait été rejeté) pour trouver P_i . Par conséquent, nous avons un système surdéterminé et nous le résolvons par moindres carrés.

3 Etapes de traitement d'image

3.1 Calibrage du capteur

L'application robotique visée ne nécessite pas de modéliser toutes les distorsions des miroirs. De plus, notre méthode n'a pas besoin du calibrage complet du capteur qui n'apporte rien puisque nous travaillons avec des segments de droites particulières. Nous avons juste besoin d'estimer les

centres des miroirs, la longueur de leurs rayons et la distance entre deux centres. Ce dernier paramètre étant nécessaire pour retrouver une position de droite verticale exprimée en mètres. Ce processus est fait une seule fois.

Pour commencer, il faut trouver les paramètres de chacun des quatre cercles délimitant les miroirs dans l'image. En appliquant un détecteur de Canny et quatre opérations d'ajustement de cercles autour de quatre points proches des véritables centres, il est possible de calculer les centres et les rayons. Les rayons seront seulement utilisés pour la détection des droites radiales sur les miroirs.

La dernière étape est de mesurer physiquement la distance entre deux centres de miroirs pour calculer le rapport pixel-métrique.

3.2 Extraction des droites radiales

De nombreux travaux ont été menés sur ce problème et nous allons juste décrire notre façon de faire. Nous commençons par appliquer une transformée de Hough pour détecter des segments de droite après une détection de contours par la méthode de Canny. Les segments sont détectés dans toute l'image et filtrés par deux critères : appartenance à un des quatre miroirs et alignement avec le centre du cercle auquel il appartient. La figure 7 montre un exemple de détection de radiales. Les segments sont détectés avec une précision angulaire de $0,5^\circ$, ce qui mène à une erreur maximale de 4,4 cm pour une droite verticale distante de 5 m, si la radiale est parfaitement détectée.

4 Resultats et validation

Nous avons appliqué la méthode d'appariement sur des images de synthèse afin d'évaluer la robustesse au bruit.

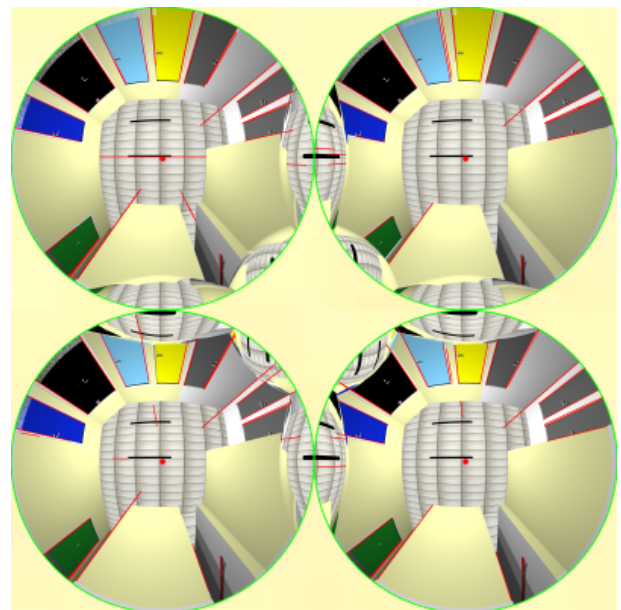


FIG. 7 – Un exemple de radiales détectées sur une image de synthèse.

Ensuite, nous avons fait des acquisitions d’images réelles. Notons que les images de synthèse représentent le même environnement que les images réelles puisqu’elles ont été générées avec Pov-Ray, un logiciel de rendu 3D par lancer de rayons, avec une définition précise de l’environnement réel. Dans cette section, nous utilisons le terme “ n -MEC” pour “Mise En Correspondance de n radiales”.

4.1 Mise en correspondance

Comme on peut le voir (Fig. 8) nous pouvons donc détecter et apparier un grand nombre de droites radiales. L’intervalle de recherche des L_i est compris entre 50 cm et 500 cm avec 45 échantillons et un seuil $T = 0,085$ degrés.

Sur les mêmes images, nous avons appliqué différents bruits gaussiens ($\sigma = 0,005$, $\sigma = 0,01$ et $\sigma = 0,05$), cinq fois chacun. Le tableau 1 présente les résultats d’appariement pour ces quinze images. Quand le bruit est trop important, l’algorithme, gardant les mêmes valeurs que dans le cas parfait, détecte beaucoup de fausses droites, c’est pourquoi, lorsque $\sigma = 0,05$, si peu d’appariements ont lieu. Si on adapte les paramètres de détection, les résultats sont identiques au cas non bruité.

Une des images réelles, comportant neuf radiales mises en correspondance, est présentée en figure 9(a). L’intervalle de recherche est fixé entre 50 cm et 500 cm avec 45 échantillons et un seuil à $T = 1,5$ degrés. T était très bas avec les images de synthèse car les détections sont quasiment parfaites. Mais dans les images réelles, les distorsions, l’échantillonnage, l’illumination, la transformée de Hough, etc, peuvent produire des erreurs de détection.

Pour valider notre méthode de mise en correspondance de

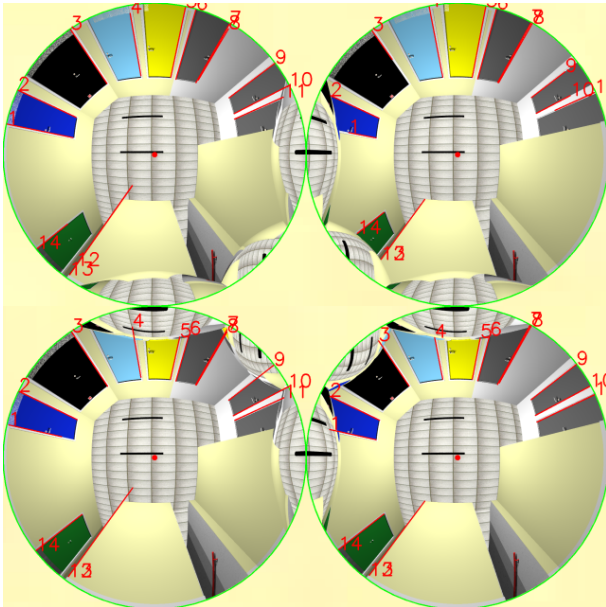


FIG. 8 – Un exemple de radiales mises en correspondance sur des images de synthèse : 81,3% de seize radiales détectées et potentiellement appariables sont mises en correspondance avec 0% de faux appariements.

σ	nombre de radiales						ratios M & F
	détections	15	16	13	15	15	
0,005	4-MEC	12	10	12	13	12	80,3%
	3-MEC	0	0	0	0	0	
	fausse MEC	0	0	1	0	0	
0,01	détections	15	16	13	15	15	77,1%
	4-MEC	10	12	8	13	11	
	3-MEC	0	0	2	0	1	
	fausse MEC	0	0	0	0	0	
0,05	détections	5	4	5	3	5	42,3%
	4-MEC	3	1	1	0	2	
	3-MEC	0	0	0	2	0	
	fausse MEC	0	0	0	0	0	

TAB. 1 – Impact du bruit gaussien sur les images de synthèse. “ratios M & F” signifie “ratios de MEC et fausse MEC”.

droites radiales, nous avons acquis vingt images avec notre capteur en le déplaçant d’environ 25 cm entre chaque prise de vue et en le tournant pour faire une trajectoire courbe afin de varier les points de vue autant que possible. Dans cette expérimentation, nous avons mis en correspondance, en moyenne, 77% des radiales détectées pour seulement 0,8% de faux appariements (un seul faux appariement dans cette séquence). Les résultats détaillés sont présentés dans le tableau 2.

4.2 Triangulation

Pour visualiser les résultats de triangulation, nous avons lié les points P_i successifs par un quadrangle vertical et l’avons texturé avec l’information image située entre les deux radiales associées (Fig. 10). Ceci a été fait avec les images de synthèse puisqu’il y a plus de radiales, ce qui est plus intéressant à visualiser.

5 Conclusion

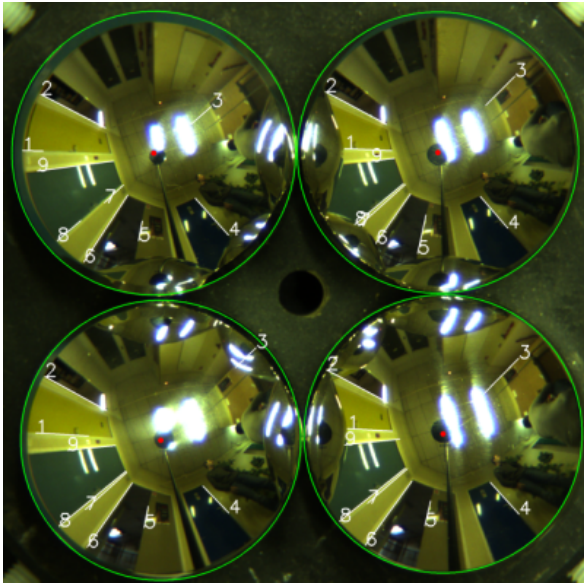
Nous avons présenté un nouvel algorithme de mise en correspondance de droites radiales pour les images de stéréovision omnidirectionnelle basé sur des hypothèses de positions de droites verticales et la minimisation d’une erreur angulaire globale de reprojection. Nous avons utilisé des simulations pour montrer la qualité de cette méthode et l’avons appliquée aussi bien sur images de synthèse que sur images réelles. Les résultats ont montré un appariement robuste avec des taux de mise en correspondance élevés et presque aucun faux appariement. Un exemple d’application de reconstruction partielle de scène a été présenté. Nous poursuivons ces travaux en vue d’utiliser ce calcul de pose pour localiser le robot mobile embarquant le capteur.

Références

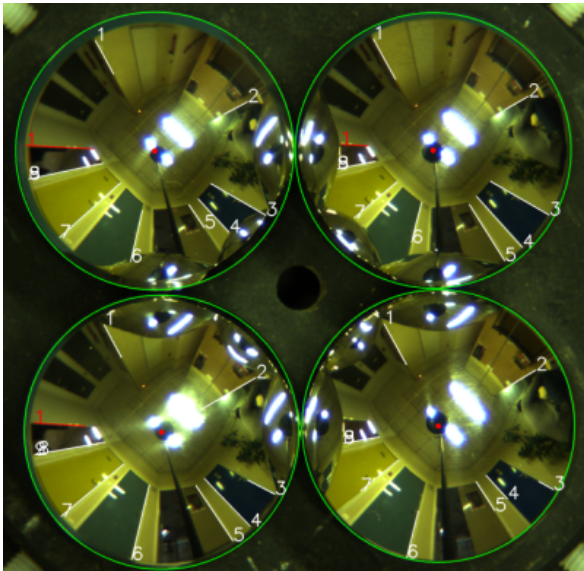
- [1] S.K. NAYAR, “Sphero : Determining Depth using Two Specular Spheres and a Single Camera”, *Cam-*

Image	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	moyenne
Détections	9	9	10	10	10	13	11	11	15	13	13	13	10	8	12	8	10	9	11	9	10
4-MEC	6	8	6	9	6	8	6	10	9	10	10	5	9	8	10	8	7	7	9	7	8
3-MEC	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
fausses MEC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TAB. 2 – Appariement de droites par rapport à la détection. Les 3-MEC sont mentionnées et les fausses MEC aussi. Le ratio moyen des bons appariements, incluant les 3-MEC, sur les radiales détectées est de 77% pour cette séquence. Le ratio des fausses MEC, dans cette séquence, et des radiales mises en correspondance est de 0,8%.

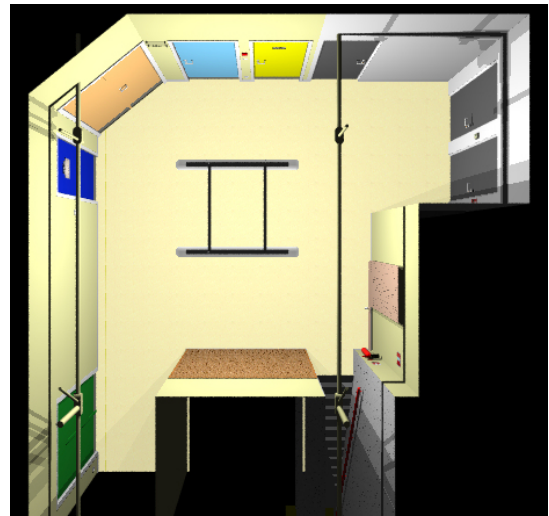


(a) Un exemple de radiales appariées sur une image dans les quatre sous-images.

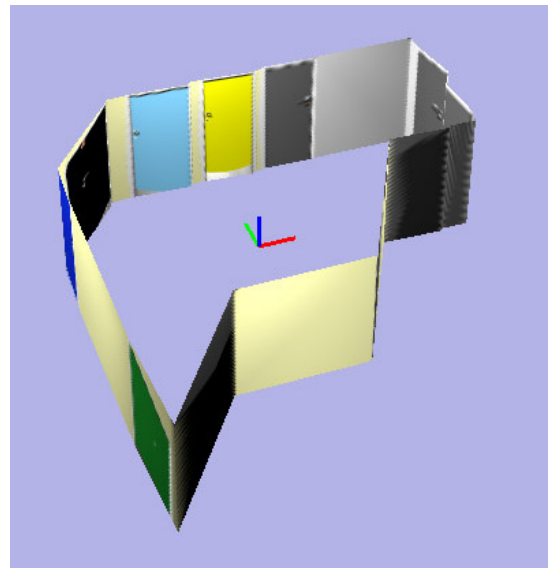


(b) Radiales appariées avec une 3-MEC en rouge (0, 75T).

FIG. 9 – Exemples d'appariement : expérimentations en conditions réelles.



(a) Environnement de synthèse



(b) Reconstruction de l'environnement

FIG. 10 – Visualisation de la reconstruction de l'environnement synthétique. Vingt droites verticales sont reconstruites et l'erreur moyenne de reconstruction est de 4,5 cm pour un écart type de 3,5 cm. Les droites étant distantes en moyenne de 300 cm du capteur, l'erreur relative est de 1,5%.

bridge Symposium on Advances in Intelligent Robotics Systems, 1988.

- [2] J. GLUCKMAN, S.K. NAYAR, K.J. THORESZ, “Real-time omnidirectional and panoramic stereo”, in *Proceedings of the 1998 DARPA Image Understanding Workshop*, 1998.
- [3] G. JANG, S. KIM, I. KWEON, “Single Camera Catadioptric Stereo System”, *OmniVis, workshop of ICCV 2005*, 2005.
- [4] E. MOUADDIB, R. SAGAWA, T. ECHIGO AND Y. YAGI, “Stereo Vision with a Single Camera and Multiple Mirrors”, In *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA’05*, april 2005.
- [5] G. DEQUEN, L. DEVENDEVILLE, E. MOUADDIB, “Stochastic Local Search for Omnidirectional Catadioptric Stereovision Design”, *IbPRIA (2)*, 2007.
- [6] D. SCARAMUZZA, N. CRIBLEZ, A. MARTINELLI, R. SIEGWART, “Robust Feature Extraction and Matching for Omnidirectional Images”, *Springer Tracts in Advanced Robotics, Field and Service Robotics*, 2008.
- [7] D. SCARAMUZZA, R. SIEGWART, “Performance Evaluation of a Vertical Line Descriptor for Omnidirectional Images”, *IROS 2008*, 2008.
- [8] C. SCHMID, A. ZISSERMAN, “Automatic Line Matching across views”, *CVPR 1997*, 1997.
- [9] C. BAILLARD, C. SCHMID, A. ZISSERMAN, A. FITZGIBBON, “Automatic Line Matching and 3D Reconstruction of Buildings from multiple views”, *n ISPRS Conference on Automatic Extraction of GIS Objects from Digital Imagery, IAPRS*, 1999.