

Un Capteur Stéréoscopique Multi-Spectral pour l'Acquisition de Scènes 3D Sphériques Couleurs

Olivier ROMAIN¹, Thomas EA², Claude GASTAUD¹ et Patrick GARDA¹

¹Laboratoire des Instruments et des Systèmes d'Ile de France, LISIF

Université Pierre et Marie Curie, Tour 12, E2, Casier 252

4 Place Jussieu, 75252 Paris cedex 05

²Institut Supérieur d'Electronique de Paris, ISEP

Département d'Electronique

21 rue d'Assas, 75270 Paris cedex 06

Olivier.Romain | Thomas.Ea | Claude.Gastaud | Patrick.Garda@lisif.fr

Résumé - Cet article décrit le développement d'un capteur original de vision stéréoscopique panoramique dédié à la reconstruction 3D sphérique. Bien que des capteurs de vision panoramique existent depuis plusieurs années, le nôtre utilise quatre canaux d'acquisition couplés à un projecteur de lumière structurée afin de restituer une reconstruction 3D sphérique précise avec une texture couleur fidèle à la scène observée. Des expérimentations démontrent la faisabilité de ce nouveau capteur de vision sphérique. Ce capteur est dédié à la reconstruction de scènes sur $360^{\circ} \times 360^{\circ}$ pour des applications multimédias et cinématographiques.

Abstract - This paper describes the development of an original stereoscopic sensor suitable for 3D spherical reconstruction. Unlike the existing sensors, it uses four acquisition channels coupled with an additional structured light projector to obtain an accurate 3D spherical reconstruction with faithful colors. Real experiments demonstrate the feasibility of this new spherical sensor. This original sensor is dedicated to real scenes reconstruction for multimedia and motion pictures applications over 360×360 degrees.

1. Introduction

L'intérêt des images panoramiques ces dernières années ont amené un nombre important nombre de laboratoire de recherche à concevoir des capteurs panoramiques originaux. L'ensemble de tous ces capteurs peut être résumé suivant deux classes : la première classe utilise les techniques de mise en rotation de caméras [1, 2] (matricielles ou linéaires) tandis que la seconde utilise une approche plus optique en ajoutant un système additionnel à la caméra (catadioptré ou lentilles grand champ) [3-6]. Le choix de l'architecture d'un capteur panoramique tient dans un compromis entre la résolution et le temps d'acquisition des images panoramiques. Récemment, ces capteurs ont vu leurs domaines d'applications s'élargir aux applications multimédias et cinématographiques. Ces applications requièrent une reconstruction 3D sur l'ensemble de la scène (i.e. 360×360 degrés) avec une grande précision géométrique et des textures couleurs fidèles à celles observées.

De nos jours, d'autres capteurs peuvent être utilisés pour réaliser une reconstruction 3D sur 360×360 degrés: les scanners 3D (basés sur la télémétrie laser) couplés avec une caméra CCD couleur. Mais ces capteurs sont souvent très onéreux et les images couleurs manquent de qualités.

Ainsi, nous avons conçu un capteur stéréoscopique couleur dédié à la vision sphérique. Nous commencerons par décrire l'architecture du capteur et ses spécifications, puis nous présenterons quelques résultats expérimentaux montrant les

possibilités du capteur à reconstruire des scènes 3D sphériques.

2. L'architecture du capteur

2.1 Principe du capteur stéréoscopique

L'architecture du capteur stéréoscopique est basée sur la mise en rotation de deux caméras linéaire CCD avec leurs centres optiques sur le même axe de rotation d'un moteur pas à pas (figures 1 et 2) [7]. L'architecture de ce capteur permet d'obtenir un couple d'images panoramique possédant une géométrie cylindrique.

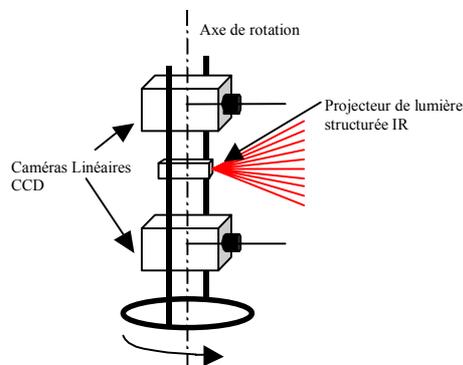


FIG. 1 : Principe du capteur

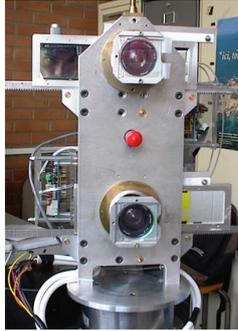


FIG. 2 : Image du capteur

Les caméras ont été développées autour de deux barrettes CCD de 1024 pixels (Thomson 7802A). La surface de chaque pixel est de $13 \mu\text{m} \times 13 \mu\text{m}$. Les différents signaux de contrôles sont générés par un circuit spécifique (LM9800 de NS). Ce circuit permet aussi de convertir le signal vidéo en un signal numérique de 8 bits. Les données numériques sont alors sauvegardées dans une mémoire tampon de type FIFO avant d'être transmis au PC via une fibre optique. Tous les autres signaux de contrôles sont générés via un FPGA. Un logiciel spécifique sur PC permet de récupérer à partir d'une carte d'acquisition les données pour les différents traitements.

Chaque caméra est pourvue d'un objectif photographique de focale 12,5 mm. Pour acquérir des images stéréoscopiques, les deux caméras sont montées sur le moteur pas à pas 1 de telle manière que les centres optiques de chaque caméra soient alignés sur l'axe de rotation du moteur 1. Le pas minimum possible du moteur est de 0,0001 dg. Une conception mécanique spéciale permet de positionner précisément chaque caméra et permettre leurs alignements. Le positionnement précis de chaque caméra est réalisé via trois tables micrométriques de résolution $10 \mu\text{m}$. La distance entre chaque caméra est fixée à 20 cm par construction et n'est pas modifiable. Une attention toute particulière a été faite au niveau de la réduction du poids du système et de la stabilité de celui-ci vis à vis des perturbations extérieures (température, vibration, etc.).

Un projecteur de lumière structurée laser infrarouge [8] équipé d'un réseau de diffraction permettant de projeter 15 lignes parallèles à partir du faisceau laser infrarouge, est placé sur le même axe de rotation que les deux caméras. La position du laser est placée par construction à une distance proche du milieu des deux centres optiques des deux caméras. L'angle d'ouverture du projecteur (laser et réseau de diffraction) est plus petit que les angles de vues de chaque caméra. Ainsi, chaque caméra voit entièrement les 15 lignes.

2.2 Vers un capteur dédié à l'acquisition de scènes sur 360x360 degrés

Pour acquérir des images sur l'ensemble de la scène, un second axe de rotation a été ajouté (figures 3 et 4). Le capteur décrit ci-dessus, est positionné horizontalement et permet d'obtenir un couple d'images panoramiques de géométrie cylindrique horizontale. En tournant le capteur autour de son axe vertical, la scène peut alors être acquise sur 360x360

degrés. Cet axe de rotation passe par le milieu des deux centres optiques des caméras.

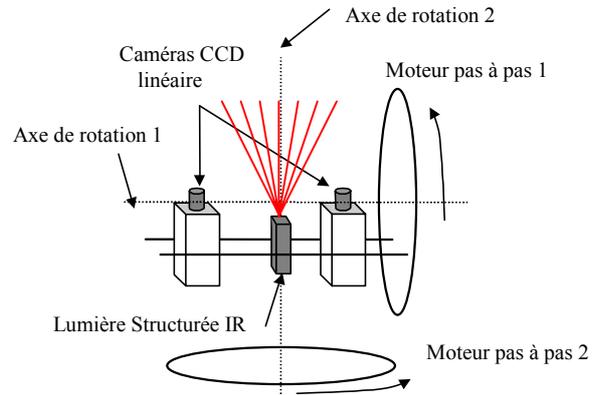


FIG. 3 : Principe du capteur sphérique

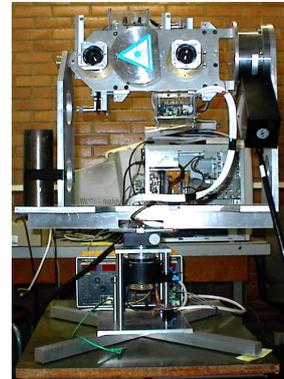


FIG. 4 : Image du capteur sphérique

2.3 Quatre canaux d'acquisitions

Une des particularités de notre travail porte sur l'utilisation des propriétés intrinsèques des capteurs CCD, plus précisément, sur la sensibilité spectrale du Silicium, pour produire une acquisition multi-spectrale. Comme le CCD possède une courbe de sensibilité spectrale dont la bande varie de 300 nm à 1100 nm, l'utilisation d'un jeu de quatre filtres [9], dont les réponses spectrales sont données sur la figure 5, permet d'obtenir quatre canaux d'acquisition par caméra. Les trois premiers canaux composés par les filtres primaires Rouge, Vert et Bleu permettent d'acquérir un couple d'images stéréoscopiques panoramiques couleurs. Le quatrième canal composé d'un filtre de type Cold permet l'acquisition de la lumière structurée infrarouge projetée dans la scène.

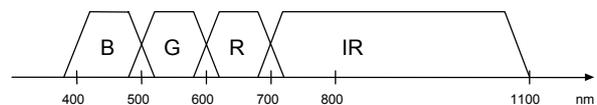


FIG. 5 : Image du capteur sphérique

3. Des couleurs fidèles

Une des particularités remarquables de notre capteur est sa capacité à acquérir des stéréo-panoramas de hautes qualités. Dans la plupart des caméras couleurs linéaires, les trois canaux d'acquisition sont obtenus en utilisant trois barrettes de photo-détecteurs distincts. Ainsi, un point de l'espace dans le modèle sténopé de la caméra, se projette suivant trois directions. On obtient donc trois lignes de vue du à la taille de chaque pixel (R, V et B). Cependant, les algorithmes qui utilisent l'information colorimétrique sont basés sur le fait que les trois composantes colorimétriques d'un point de l'espace sont obtenues suivant la même perspective. De ce fait des erreurs sont introduites dès le processus d'acquisition sur les composantes colorimétriques réelles du point de l'espace.

Pour acquérir les couleurs fidèles, deux étapes doivent être respectées : la première est de s'assurer que chaque point 3D de la scène est acquis suivant le point de vue tandis que le second représente la réduction des défauts dans le processus d'acquisition.

Pour garantir la première étape, nous avons utilisé pour chaque caméra un jeu de trois filtres primaires Rouge, Vert et Bleu [9] et une simple barrette CCD monochrome. Les filtres sont positionnés sur une platine motorisé entre la sortie de l'objectif photographique et la barrette CCD. Entre deux acquisitions, la platine motorisé se déplace automatiquement de manière à positionner le filtre correspondant au canal d'acquisition programmé. L'acquisition d'une image panoramique couleur nécessite le déplacement des trois filtres.

De manière à réduire les défauts dans le processus d'acquisition couleur, les filtres sont placés derrière l'objectif photographique de chaque caméra. Cette position originale des filtres permet de réduire les aberrations chromatiques dues aux objectifs. De plus, un quatrième filtre est utilisé en conjonction des trois autres de manière à rejeter les bandes spectrales UV et IR. Lors du processus d'acquisition nous utilisons une lumière dont le spectre se rapproche le plus de celui de la lumière de jour. Suivant toutes ces considérations, nous pouvons garantir que le processus d'acquisition d'images panoramiques couleurs est obtenu avec le minimum d'erreur possible et seulement sur la bande spectrale qui correspond au visible.

4. Calibrage colorimétrique et profil ICC

Pour s'assurer que chaque caméra acquerra les couleurs réelles de la scène, nous devons calibrer l'espace colorimétrique du capteur et effectuer des corrections colorimétriques. Nous avons développé une nouvelle méthode de calibrage inspirée des méthodes de calibrage des scanners. A cette fin, nous avons utilisé une source lumineuse dont les caractéristiques spectrales sont proches de celle de la lumière de jour (à 5400°K) et une charte (IT8.7/2 [10]) dont les

valeurs sont connues dans l'espace L^*a^*b . A partir de l'image acquise de la charte, il est alors possible à partir d'un logiciel spécifique [11] de déterminer les profils ICC (International Color Consortium) de deux caméras. Le profil ICC de chaque caméra permet alors de réaliser une correction colorimétrique des images et d'obtenir les vraies composantes RVB dans l'espace L^*a^*b . Le protocole de restitution passe par l'acquisition d'une image couleur sur 360° dans laquelle figure la charte. En extrayant la charte de l'image, le profil ICC de chaque caméra peut être alors déterminer par un logiciel spécifique. L'application de ce profil à l'ensemble de l'image permet de corriger celle-ci (figure 6).

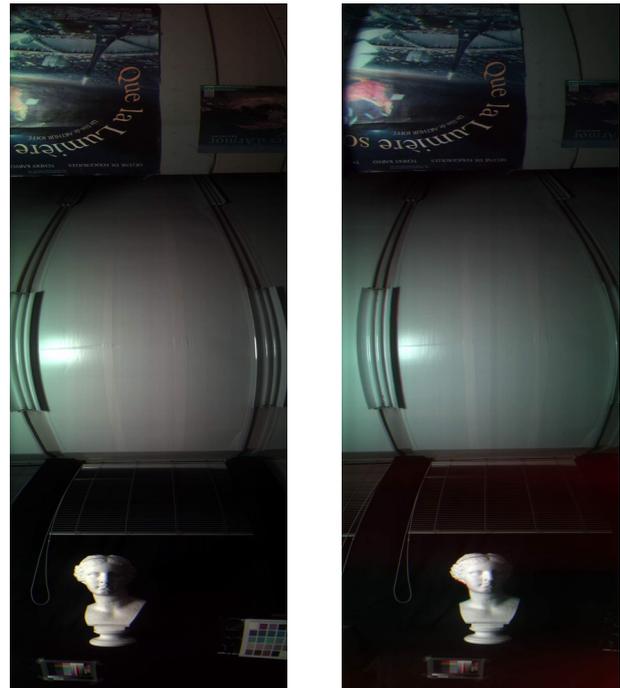


FIG. 6 : Couple d'images panoramique couleur pour 0° de rotation verticale

5. Expérimentations

5.1 Calibrage du capteur

La première étape dans un processus de reconstruction 3D et plus précisément dans tout système stéréoscopique consiste à déterminer les paramètres intrinsèques de chaque caméra. Cette importante caractérisation permet de partir d'un algorithme d'appariement de récupérer l'information métrique des points appariés. Ce capteur de part sa conception requière un processus de calibrage spécifique. Les méthodes traditionnelles de calibrage ne sont pas adaptées à notre cas. Une méthode originale de calibrage de caméra linéaire à été développée dans [12].

5.2 Reconstruction 3D

Lors d'un processus de reconstruction, deux facteurs sont à prendre en compte, le temps de calcul et les erreurs d'appariement sont assez gourmands en temps de calcul et leurs erreurs augmentent considérablement suivant la

complexité des images. Pour résoudre ce problème, nous utilisons les informations de la projection de la lumière structurée dans la scène obtenue sur le quatrième canal d'acquisition. L'utilisation d'une lumière structurée nous permet toujours d'obtenir le même nombre de points caractéristiques quel que soit la complexité de la scène.

Les dessins de la lumière structurée obtenus par les deux caméras sur le canal infrarouge (figure 7), sont extraits colonne par colonne. En appariant ces deux dessins, l'information métrique de la lumière structurée dans la scène peut être facilement retrouvée. Un algorithme spécifique basé sur une corrélation croisée a été développé de manière à assurer cette tâche. Par l'utilisation d'un canal spécifique conçu de manière à simplifier le processus d'appariement tout en rendant robuste, il est alors possible d'obtenir une reconstruction 3D de la lumière structurée tout en diminuant le temps de calcul.

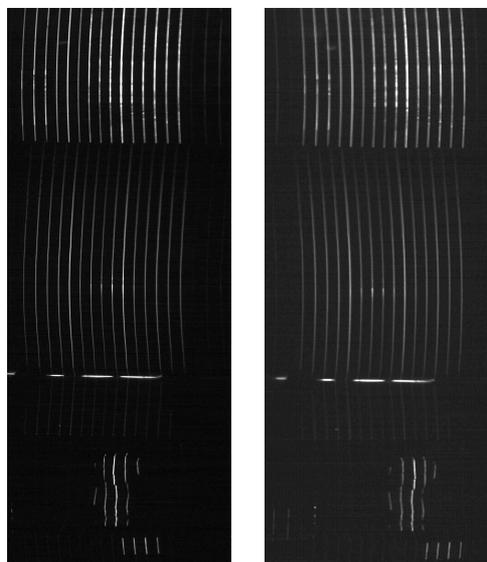


FIG. 6 : Exemple d'images infrarouges

A partir des informations des points 3D et des images couleur, nous pouvons appliquer la texture sur la représentation 3D afin d'obtenir une reconstruction 3D dense en couleur. Un algorithme spécifique basé sur une triangulation de Delaunay et des fonctions en langage VRML permettent de réaliser cette opération. La visualisation de cette reconstruction est faite à l'aide d'un plug-in, comme Cosmo Player [13], sous Netscape ou Internet Explorer.

6. Conclusion

Nous avons introduit dans ce papier un nouveau capteur de vision stéréoscopique sphérique. Grâce à une acquisition réalisée sur quatre canaux, il permet de réaliser rapidement une reconstruction en 3D d'une scène sur 360x360 degrés avec une grande précision de reconstruction et une texture couleur fidèle à celles observées.

Un prototype a été créé et testé. Les résultats expérimentaux confirment que ce capteur représente un

moyen efficace pour reconstruire un environnement avec des couleurs fidèles.

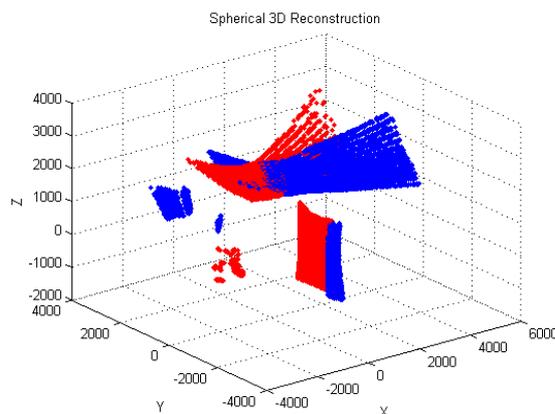


FIG. 7 : Exemple d'une reconstruction 3D obtenue pour 0 et 30 degrés de rotation verticale

Références

- [1] R. Benosman, T. Manière, and J. Devars, "Multi-Directionnal Stereovision Sensor, Calibration and Scenes Reconstruction," *13th Int. Conf. On Pattern Recognition*, pp. 161-165, 1996.
- [2] R. Benosman and J. Devars, "Panoramic Stereovision Sensor," *IEEE Int. Conf. On Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 767-769, 1998.
- [3] D. Southwell, A. Basu, M. Fiala, and J. Reyda, "Panoramic stereo," *Int. Conf on Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 378-382, 1996.
- [4] S. K. Nayar, "Catadioptrics omnidirectional camera," *IEEE Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 482-488.
- [5] H. Ishiguro, T. Maeda, T. Miyashita, and S. Tsuji, "A strategy for acquiring an environmental model with panoramic sensing by a mobil robot," *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 724-729, 1994.
- [6] Z. L. Cao, S. J. Oh, and E. L. Hall, "Dynamic omnidirectional vision for mobile robots," *Journal of Robotics Systems*, vol. 3(1), pp. 5-17, 1986.
- [7] T. Manière, R. Benosman, J. Devars, and C. Gastaud, "Vision system dedicated to panoramic three-dimensional scene reconstruction," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 7(3), pp. 672-676, 1998.
- [8] Lasiris, *Laser Line Projector DLS500/SLH515. Commercial Product of Lasiris Inc.*
- [9] Kodak, "Photographic Filters Handbook," 1990.
- [10] AGFA, *IT8.7/2 AGFA charter.*
- [11] AGFA, *ColorTune Color Management Software.*
- [12] R. Benosman, T. Manière, and J. Devars, "Panoramic Sensor Calibration," *IAPR Pattern Recognition Letters*, pp. 483-490, 1998.
- [13] Cosmo, *Cosmoplayer 2.1 plug-in. Http://cosmos.sgi.com/.*