



HAL
open science

Vision événementielle Omnidirectionnelle : Théorie et Applications

Daniel Rodrigues da Costa, Pascal Vasseur, Fabio Morbidi

► **To cite this version:**

Daniel Rodrigues da Costa, Pascal Vasseur, Fabio Morbidi. Vision événementielle Omnidirectionnelle : Théorie et Applications. ORASIS 2023, Laboratoire LIS, UMR 7020, May 2023, Carqueiranne, France. hal-04219364

HAL Id: hal-04219364

<https://hal.science/hal-04219364v1>

Submitted on 27 Sep 2023

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.

Vision Événementielle Omnidirectionnelle : Théorie et Applications

Daniel Rodrigues da Costa, Pascal Vasseur, Fabio Morbidi

Laboratoire MIS, Université de Picardie Jules Vernes, 80039 Amiens*

E-mails : {daniel.rodrigues.da.costa,pascal.vasseur,fabio.morbidi}@u-picardie.fr

Résumé

Pour répondre à l'évolution constante des performances dynamiques des robots mobiles, les systèmes de perception doivent s'adapter en permanence et rester au centre de l'attention de la communauté scientifique. Dans cet article, nous explorons la notion originale de caméra événementielle omnidirectionnelle. En particulier, nous nous attachons aux problèmes de modélisation mathématique et étalonnage, et nous présentons quelques exemples de rendu en image de synthèse (simulateur CARLA) et réel (caméra EVK3 de Prophesee) avec un objectif catadioptrique. Enfin, pour conclure, les applications potentielles du nouveau capteur bio-inspiré sont brièvement décrites.

Mots Clef

Caméra événementielle, vision omnidirectionnelle, robots mobiles à très haute dynamique.

1 Introduction

Depuis quelques années, l'utilisation des caméras événementielles est en plein essor en vision par ordinateur et en robotique [1], et ces capteurs sont à l'origine d'un nombre croissant de projets de recherche portant, par exemple, sur le véhicule autonome [2–4]. Néanmoins, la nature des données en sortie d'une caméra événementielle est très différente par rapport à celle d'une caméra classique et il reste encore du chemin à parcourir avant de pouvoir exploiter pleinement leur potentiel. Les caméras événementielles mesurent les variations d'intensité lumineuse de façon asynchrone et produisent un flux d'événements continu qui code la position pixellique, l'horodatage et le signe de la variation d'intensité lumineuse (polarité). Elles présentent plusieurs avantages par rapport aux caméras conventionnelles : une résolution temporelle élevée (de l'ordre de la microseconde), une plage dynamique très élevée (jusqu'à 140 dB), une faible consommation énergétique et une largeur de bande importante (de l'ordre du kHz), ce qui réduit le flou de mouvement. D'ailleurs, la résolution spatiale des dernières caméras événementielles est comparable à celle des caméras traditionnelles (1280 × 720 pixels pour la caméra EVK4-HD de Prophesee).

Malheureusement, les caméras événementielles, comme les capteurs de vision classiques, ont un champ de vision étroit, ce qui est particulièrement critique lorsque la caméra

est montée sur des robots se déplaçant à très grande vitesse (par exemple, un drone). Il existe plusieurs solutions pour augmenter le champ de vision d'une caméra conventionnelle (lentilles fisheye, miroirs, etc.) : cependant, relativement peu de travaux dans la littérature, ont abordé le problème de la vision panoramique pour les caméras événementielles. Dans [5], les auteurs ont développé un système stéréo composé de deux caméras événementielles montées sur une tête pivotante, qui fournit une vision panoramique à 360° en temps réel. Reinbacher *et al.* [6] ont proposé un algorithme de suivi et de cartographie panoramique qui repose uniquement sur les coordonnées spatiales des événements dans le flux continu. Dans [7], une méthode stéréo multi-vues, appelée EOMVS, est développée pour déterminer une carte de profondeur et reconstruire une scène 3D à l'aide d'une caméra fisheye événementielle. Récemment, une caméra fisheye événementielle observant une scène routière à partir d'une voiture en mouvement, a été aussi incluse dans la base de données synthétiques, SynWoodScape [8].

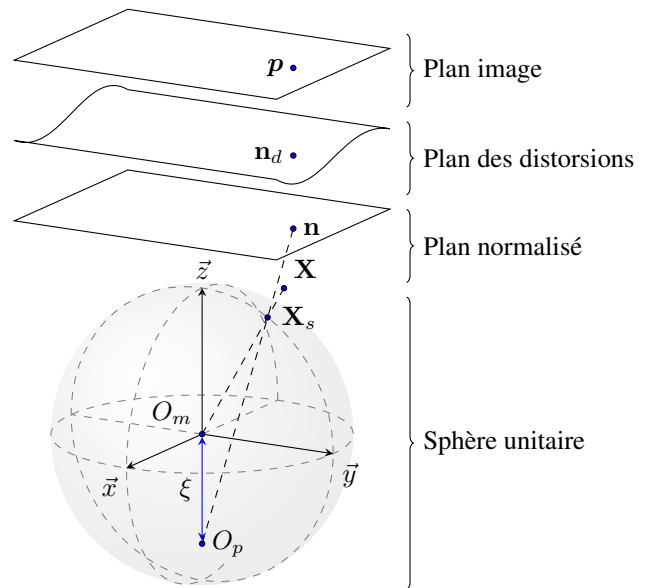


FIGURE 1 – Modèle unifié pour une caméra événementielle omnidirectionnelle.

*Ce travail a été cofinancé par l'AID (Agence de l'Innovation de Défense), dans le cadre du projet EVENTO "Caméras événementielles omnidirectionnelles pour les robots à très haute dynamique" (2021-2024).

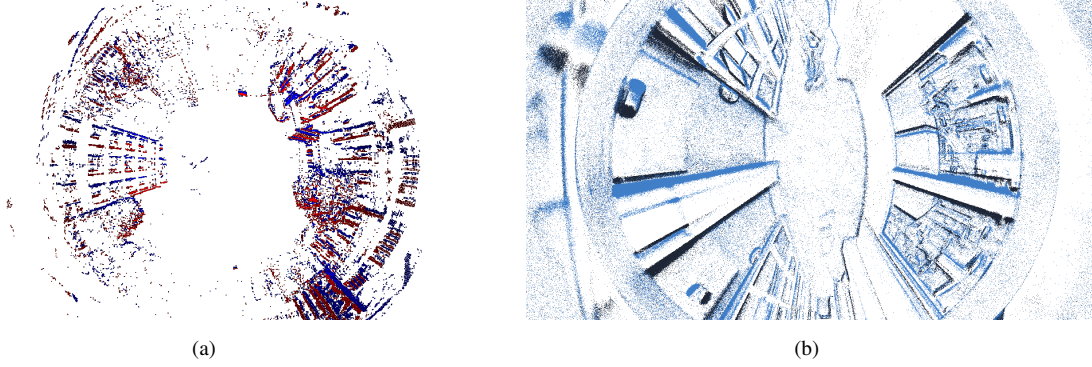


FIGURE 2 – Images événementielles catadioptriques générées avec : (a) Le simulateur CARLA ; (b) L’EVK3 de Prophesee.

2 Modélisation de la caméra

Geyer & Daniilidis [9] ont montré qu’il est possible de modéliser toute caméra à projection centrale à l’aide d’une sphère unitaire. Ce modèle, ensuite complété par Barreto [10] et Mei & Rives [11], ou encore revisité par Scaramuzza *et al.* [12], peut être aussi utilisé pour décrire une caméra événementielle omnidirectionnelle. Le modèle unifié permet de calculer la transformation entre les coordonnées d’un point 3D dans la scène et sa projection (en coordonnées pixelliques) sur le plan image.

Soit $\mathbf{X} = [x, y, z]^\top$ un point 3D exprimé dans le repère d’origine O_m et $\mathbf{X}_s = \mathbf{X}/\|\mathbf{X}\| = [x_s, y_s, z_s]^\top$ son projeté sur la sphère unitaire (voir la Fig. 1). Le point \mathbf{X}_s est ensuite projeté sur le plan normalisé à partir du centre de projection O_p de la caméra, qui se situe à une distance ξ le long de l’axe z du repère d’origine O_m . On obtient ainsi le point $\mathbf{n} = [x_n, y_n]^\top = \left[\frac{x_s}{z_s + \xi}, \frac{y_s}{z_s + \xi} \right]^\top$, qui est ensuite projeté sur le plan des distorsions, via $\mathbf{n}_d = \mathbf{n} + \mathbf{D}(\mathbf{n})$, où $\mathbf{D}(\mathbf{n})$ est la fonction de distorsion proposée dans [11]. Enfin, \mathbf{n}_d est projeté sur le plan image afin de déterminer les coordonnées pixelliques du point $\mathbf{p} = [u, v]^\top$,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{p} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_u & \alpha & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{n}_d \\ 1 \end{bmatrix},$$

où f_u, f_v, α, u_0 et v_0 sont les paramètres intrinsèques de la caméra (d’habitude, on assume que le “skew factor” $\alpha = 0$, car les pixels d’une caméra sont généralement carrés).

3 Étalonage de la caméra

Compte tenu de la nature asynchrone des données en sortie, l’étalonage d’une caméra événementielle est plus complexe que celui d’une caméra traditionnelle et fait toujours l’objet de travaux de recherche. Certains auteurs ont proposé d’utiliser des motifs clignotant sur un écran d’ordinateur ou un éclairage actif avec une mire de calibration classique. Récemment, une approche dynamique et une approche basée sur l’apprentissage ont été décrites dans [13] et [14], respectivement, pour simplifier et rendre la procédure d’étalonage plus robuste. Cependant, à l’exception de [7] où une caméra fisheye événementielle est

u_0 [pix.]	v_0 [pix.]	f_u [pix.]	f_v [pix.]	ξ
601.773	327.333	310.272	308.827	0.952

TABLE 1 – Paramètres internes de notre caméra événementielle catadioptrique (résolution : 1280×720 pixels).

considérée, nous n’avons connaissance d’aucun autre algorithme de calibration générique pour les caméras événementielles omnidirectionnelles. Afin d’étalonner différents types de capteurs (système catadioptrique, fisheye, etc.), nous avons développé un protocole facile à mettre en œuvre, qui consiste à filmer une mire de calibration clignotante vidéo projetée sur un écran blanc. Une image en niveaux de gris est générée par accumulation temporelle des événements, puis utilisée, à son tour, pour estimer les paramètres (f_u, f_v, u_0, v_0, ξ) de la caméra, à l’aide d’algorithmes de calibration conventionnels.

4 Résultats

Les premiers essais d’étalonnage ont été effectués sur une caméra Evaluation Kit 3 - HD (EVK3) de Prophesee couplée d’un objectif catadioptrique VStone VS-C450MR-TK (miroir parabolique). Afin d’estimer les paramètres internes du système, nous avons utilisé un motif régulier clignotant à base de cercles (fréquence : 30 Hz) fournie par Prophesee [15], et nous nous sommes également servis du logiciel de calibration pour caméras hybrides, HySCaS [16]. Le Tableau 1 présente le détail des paramètres internes estimés pour notre caméra.

Inspirés par [8], nous avons également simulé de façon précise le fonctionnement d’une caméra événementielle catadioptrique avec le simulateur CARLA [17], en nous servant des paramètres internes du capteur réel (voir la Fig. 2).

5 Perspectives et applications

Le concept présenté dans cet article est, à notre connaissance, nouveau et il constitue une première étape vers la vision événementielle omnidirectionnelle, avec de nombreuses applications dans les domaines de la robotique mobile et du véhicule autonome. Notamment, dans un futur

proche, nous envisageons d'utiliser une caméra événementielle omnidirectionnelle embarquée sur un robot aérien agile (par exemple, un mini-quadrirrotor), pour l'odométrie visuelle [18].

Références

- [1] G. Gallego, T. Delbrück, G. Orchard, C. Bartolozzi, B. Taba, A. Censi, S. Leutenegger, A.J. Davison, J. Conradt, K. Daniilidis, and D. Scaramuzza. Event-Based Vision : A Survey. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 44(1) :154–180, 2022.
- [2] G. Chen, H. Cao, J. Conradt, H. Tang, F. Rohrbein, and A. Knoll. Event-Based Neuromorphic Vision for Autonomous Driving. *IEEE Signal Process. Mag.*, 37(4) :34–49, 2020.
- [3] M. Gehrig, W. Aarents, D. Gehrig, and D. Scaramuzza. DSEC : A Stereo Event Camera Dataset for Driving Scenarios. *IEEE Rob. Autom. Lett.*, 6(3) :4947–4954, 2021.
- [4] R. Bouteau *et al.* CERBERE : Caméra événementielle pour la pERception d'oBjÈts Rapides autour du véhicule autonomE. Projet ANR PRCE, 2022–2025. [Online] <https://litis-cerbere.univ-rouen.fr>.
- [5] S. Schraml, A.N. Belbachir, and H. Bischof. An Event-Driven Stereo System for Real-Time 3-D 360° Panoramic Vision. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 63(1) :418–428, 2016.
- [6] C. Reinbacher, G. Munda, and T. Pock. Real-Time Panoramic Tracking for Event Cameras. In *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Photog.*, pages 1–9, 2017.
- [7] H. Cho, J. Jeong, and K.-J. Yoon. EOMVS : Event-Based Omnidirectional Multi-View Stereo. *IEEE Rob. Autom. Lett.*, 6(4) :6709–6716, 2021.
- [8] A.R. Sekkat, Y. Dupuis, V.R. Kumar, H. Rashed, S. Yogamani, P. Vasseur, and P. Honeine. SynWood-Scape : Synthetic Surround-View Fisheye Camera Dataset for Autonomous Driving. *IEEE Rob. Autom. Lett.*, 7(3) :8502–8509, 2022.
- [9] C. Geyer and K. Daniilidis. A Unifying Theory for Central Panoramic Systems and Practical Implications. In *Proc. Europ. Conf. Comput. Vis.*, pages 445–461, 2000.
- [10] J. Barreto. A unifying geometric representation for central projection systems. *Comput. Vis. Image Underst.*, 103(3) :208–217, 2006.
- [11] C. Mei and P. Rives. Single View Point Omnidirectional Camera Calibration from Planar Grids. *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat.*, pages 3945–3950, 2007.
- [12] D. Scaramuzza, A. Martinelli, and R. Siegwart. A flexible technique for accurate omnidirectional camera calibration and structure from motion. In *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis. Syst.*, page 45, 2006.
- [13] K. Huang, Y. Wang, and L. Kneip. Dynamic Event Camera Calibration. In *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intel. Robots Syst.*, pages 7021–7028, 2021.
- [14] M. Muglikar, M. Gehrig, D. Gehrig, and D. Scaramuzza. How to Calibrate Your Event Camera. In *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Workshop*, pages 1403–1409, 2021.
- [15] Prophesee. Intrinsic Calibration, 2021. [Online] https://docs.prophesee.ai/stable/metavision_sdk/modules/calibration/samples/intrinsics.html.
- [16] G. Caron and D. Eynard. Hyscas : Hybrid Stereoscopic Calibration Software. [Online] <https://mis.u-picardie.fr/~g-caron/software>, 2011.
- [17] A. Dosovitskiy, G. Ros, F. Codevilla, A. Lopez, and V. Koltun. CARLA : An Open Urban Driving Simulator. In *Proc. 1st Annual Conf. Robot Learn.*, pages 1–16, 2017. [Online] <https://carla.org>.
- [18] D. Rodrigues da Costa, P. Vasseur, and F. Morbidi. Gyrevento : Event-based Omnidirectional Visual Gyroscope in a Manhattan World. 2023, in preparation.