

Table des matières

Introduction générale	1
1 Etat de l'art	3
1.1 Introduction	3
1.2 Notion de caméras	4
1.3 Notion de Calibrage/étalonnage	9
1.3.1 Les différents techniques de calibrage	11
1.3.2 Les méthodes de calibrage	12
Méthode de Zhang Zhengyou	12
1.4 Notion de mesure de distance numérique	14
1.5 Structuration du travail	14
1.5.1 Feuille de route technologique	14
1.5.2 Choix technologique	14
2 Implémentation	15
2.1 Processus de calibrage	15

Table des figures

1.1	Pellicule	5
1.2	Camescopes	5
1.3	digital single-lens reflex(DSLR)	6
1.4	Les Caméras dites « Prosommateurs »	7
1.5	Caméras professionnel	7
1.6	Caméras de type "Super Concentré"	8
1.7	Caméras dédié	8
1.8	Illustration d'une caméras	9
1.9	Modèl sténopé	10
1.10	Représentation du modèl sténopé	10

Introduction générale

Chapitre 1

Etat de l'art

1.1 Introduction

1.2 Notion de caméras

Une caméra est un dispositif qui capture la lumière et la transforme en image. Elle le fait à travers une lentille, qui concentre la lumière sur une surface sensible à celle-ci, où une image se forme *Qu'est-ce qu'une caméra ? s. d.* Elle possède un micrologiciel ou firmware qui est un type de logiciel programmé dans son matériel. Ce programme contrôle toutes les fonctions de la caméra, de la mise au point automatique et des paramètres d'exposition jusqu'au traitement et au stockage des images.

Une caméra comprend les parties essentielles suivant :

- **Le corps** : qui tient l'ensemble de toutes les composantes .
- **La lentille** : qui met la lumière au centre du capteur d'image.
- **L'obturateur** : qui contrôle la quantité de lumière qui atteint le capteur.
- **L'ouverture** : qui contrôle la quantité de lumière que l'objectif laisse entrer.
- **Le capteur d'image** : IL convertit le rayonnement électromagnétique en un signal électrique analogique. Ce signal est ensuite amplifié, puis numérisé par un convertisseur analogique-numérique et enfin traité pour obtenir une image numérique. La taille du capteur de caméra a un impact significatif sur la qualité de l'image. En effet des capteurs plus grands permettent d'avoir généralement une meilleure qualité d'image, surtout dans des conditions d'éclairage faible. Ils ont également une plus grande surface pour la prise de détails, ce qui peut se traduire par des photos plus nettes et plus détaillées.

Il ya deux catégories de caméras :

- **Les caméras numériques** : qui capturent des images par voie électronique à l'aide d'un capteur.
- **les caméras à pellicule** : Elles utilisent une bande de pellicule enduit de produits chimiques photosensibles. Elles sont utilisées pour la réalisation de film. La pellicule est une feuille mince formant le support souple à une couche sensible , elle définit chaque détaille d'une photo(couleurs, contrastes, exposition, grain, etc)



FIGURE 1.1 – image d’une pellicule.

ils existent sept types de caméras qui sont entre autre : *Les différents types de caméra 2015* :

- **Les caméras de smartphones** : Ce sont les caméras intégrés dans les téléphones portables. De nos jours la qualité des images qu’elles produisent les amène à rivaliser avec les caméras professionnels qui existent sur le marché. Elles sont utilisées pour les web vidéos, clips, interviews, courts-métrages, etc.....
- **Les Caméscopes** sont des caméras utilisées par le grand public pour leurs souvenirs de famille. Aujourd’hui elles sont rares sur le marché car elles sont remplacées par les smartphones. Seuls les plus chers parviennent à se démarquer par leur qualité d’image. Elles sont souvent de petite taille, élaborées pour automatiser la plupart des réglages et disposent bien souvent de petits capteurs mais jamais d’entrées audio.

Exemple :

- Canon Vixia HF R52
- Sony HDR PJ275
- Panasonic HC W850



Canon Vixia HF R52

Sony HDR PJ275

Panasonic HC W850

FIGURE 1.2 – image de Caméscopes.

- **Les DSLR(digital single-lens reflex)** sont des appareils photo réflex numériques disposant d'une fonction de capture vidéo. Ils sont caractérisés par la taille de leur capteur qui permettent d'avoir des images de qualités, d'objectifs interchangeables qui permettent de varier les rendus stylistiques en jouant avec les différents types de « cailloux » selon les photographes et la petite taille des lentilles (comparé à ceux d'une caméra pro) rend accessible le prix des objectifs.

Exemple :

- Canon 5D Mark III
- Nikon D800
- Canon 7D



FIGURE 1.3 – image de digital single-lens reflex(DSLR).

- **Les Caméras dites « Prosommateurs »** Le mot « prosommateur » est composé de « pro » issu de production et « sommateur » de consommateur. On appelle les prosommateurs les personnes qui achètent des produits avec une certaine exigence car ils ont pour intention d'utiliser le produit dans un cadre de production. Ces caméras assez récentes sont venues perturber la frontière entre caméscopes et caméras professionnelles en insérant une gamme intermédiaire répondant aux besoins des petits producteurs indépendants. Elles sont généralement d'une taille supérieure à un caméscope mais bien moins encombrante que les caméras pro de plateau ou de cinéma et proposent une excellente qualité d'image.

Exemple :

- Sony PMW 300
- Panasonic AG HPX250
- Canon XF 205



FIGURE 1.4 – Les Caméras dites « Prosommateurs ».

- **Caméras Professionnelles** Les caméras professionnelles sont de très grosses caméras disposant des capteurs les plus gros, les objectifs y sont évidemment interchangeables, le paramétrage de la colorimétrie y est bien souvent plus poussé, et elle sont systématiquement synchronisable par timecode.

Exemple :

- Panavision Panaflex Millennium
- Arri Arriflex D-21
- Aaton Penelope

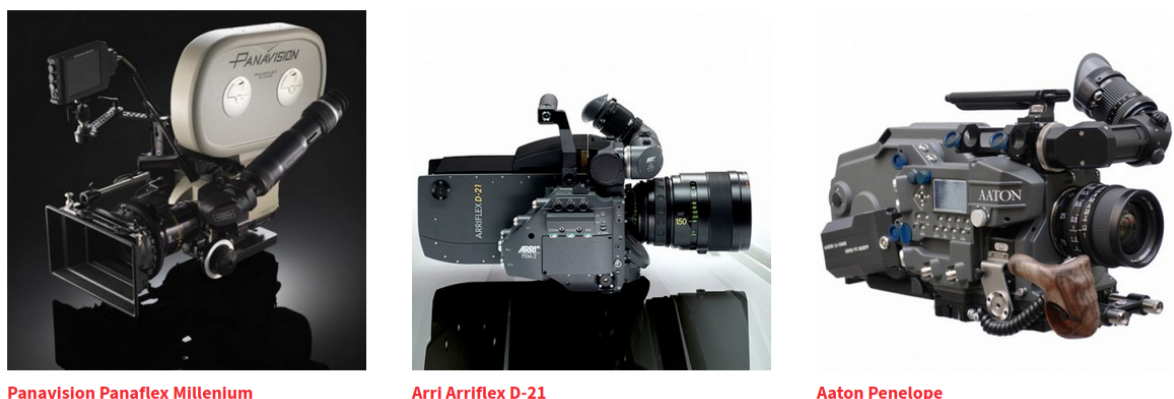


FIGURE 1.5 – image de caméra professionnel.

- **Les Caméras de type "Super Concentré"** « Super Concentré » est un terme inventé dans l'article *Les différents types de caméra 2015* pour catégoriser cette dernière tendance d'appareils. Ce qui les qualifie c'est avant tout de très grands capteurs supérieurs à la majorité des caméras prosommateurs qui leur confère une qualité d'image cinématographique comparable aux caméras professionnelles. Les objectifs sont interchangeables, et sont capables d'exporter les rushes au format RAW qui permet une grande souplesse d'ajustement en post-prod.

Exemple :

- Camera Red
- Camera Blackmagic

— Canon C300



FIGURE 1.6 – Caméras de type "Super Concentré".

- **Les Caméras dédiées** sont des caméras qui sont particulièrement dédiées à un besoin spécifique comme les caméras miniatures pour les sports extrêmes ou l'embarcation dans les véhicules motorisés, les caméras à haute cadence pour le slow motion, les caméras 3D, ou encore les caméras drones.

Exemple :

- Go Pro
- Quadrirotor DJL Phantom 2 Vision
- Hercules HD Twist
- Panasonic AG 3DA1



FIGURE 1.7 – Image de caméras dédié.

1.3 Notion de Calibrage/étalonnage

Le calibrage ou étalonnage d'une caméra est tout simplement l'estimation de la relation mathématique existant entre les coordonnées des points 3D de la scène observée et les coordonnées 2D de leur projection dans l'image (points-image), alors calibrer une caméra consiste à estimer sa fonction de transfert.

L'estimation de cette relation mathématique est le calcul des différents paramètres de la caméra. C'est une étape nécessaire en vision par ordinateur 3D ou en photogrammétrie afin d'extraire des informations métriques à partir d'images 2D.

Il existe deux types de paramètres :

- Les paramètres internes du système appelé paramètres intrinsèques composé de :
 - la distance focal
 - le centre optique
 - les coefficients de distorsion radiale de l'objectif
- Les paramètres externes appelé paramètres extrinsèques :
 - La rotation de la caméra par rapport à un système de coordonnées mondial
 - La translation de la caméra par rapport à un système de coordonnées mondial



FIGURE 1.8 – Schémas d'illustration d'une caméras.

Pour comprendre l'étalonnage de la caméra, il faut connaître le modèle de caméra utilisé. Le modèle de caméra utilisé est le modèle sténopé ou « pinhole » en anglais. ce modèle, aussi connu sous le nom de "camera obscura" ou chambre noire, est un principe optique très ancien qui permet de capturer des images. Il est souvent utilisé pour expliquer les bases de la photographie et les principes fondamentaux de l'optique géométrique. ORTEU, s. d. Le modèle sténopé modélise une caméra par une projection perspective. Ce modèle transforme un point 3D de l'espace en un point-image 2D, c'est une représentation mathématique d'un objet 3D projeté dans un espace 2D.

La figure ci-dessus représente la vision du modèle sténopé par rapport au monde réel :

- (x,y,z) : représente le repère orthonormé de centre optique (O)

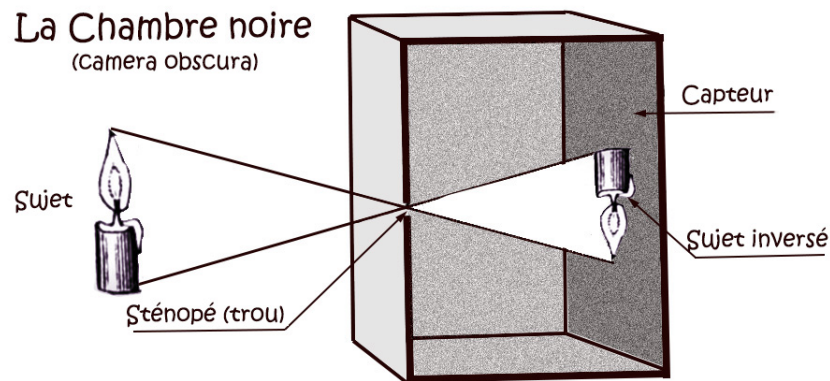


FIGURE 1.9 – Image du modèle sténopé.

- Le plan image : qui représente le plan de la caméra
- L'axe optique qui se trouve sur l'axe Z
- f : qui représente la distance focale
- x : qui représente la projection d'un point du monde réel sur le plan image
- X : qui représente un point du monde réel

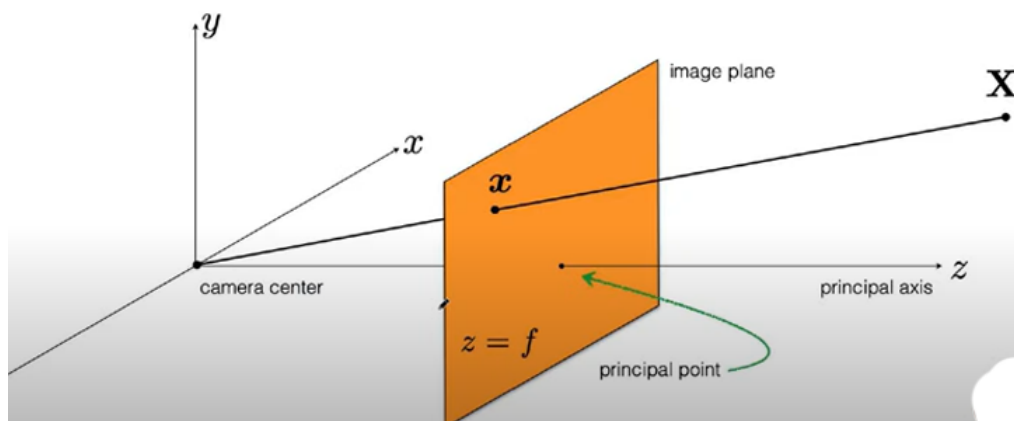


FIGURE 1.10 – Schemas de représentation du modèle sténopé.

Plusieurs facteurs peuvent affecter la précision des résultats d'étalonnage de la caméra, mais la prise en compte de ces facteurs et l'utilisation de techniques d'étalonnage appropriées peuvent aider à garantir des résultats d'étalonnage précis et fiables de la caméra.

Voici quelques-unes des plus importantes :

- **Distorsion de l'objectif** : La distorsion de l'objectif peut entraîner des erreurs importantes dans le processus d'étalonnage de l'appareil photo. La distorsion se produit lorsque l'objectif projette le monde 3D sur le plan de l'image 2D, ce qui donne l'impression que les lignes droites sont incurvées. Les types courants de distorsion comprennent la distorsion radiale, qui provoque le

gonflement de l'image vers l'extérieur ou vers l'intérieur, et la distorsion tangentielle, qui provoque l'inclinaison ou l'inclinaison de l'image. Le calcul des coefficients de distorsion et la correction de la distorsion lors du calibrage modèle de caméra aide à corriger ces erreurs.

- **Résolution de l'image** : La résolution des images utilisées pour l'étalonnage de la caméra peut également affecter la précision des résultats. Les images haute résolution fournissent des informations plus détaillées sur le modèle d'étalonnage, ce qui peut conduire à des estimations plus précises de la matrice de projection de la caméra. Cependant, les images haute résolution nécessitent également plus de ressources de calcul et peuvent être plus difficiles à traiter.
- **Placement de la caméra** : La position et l'orientation de la caméra peuvent également affecter la précision des résultats de l'étalonnage de la caméra. Les caméras doivent être placées à une distance suffisante du motif d'étalonnage pour s'assurer que la géométrie du motif est visible dans l'image. De plus, les caméras doivent être alignées parallèlement au motif pour minimiser la distorsion de perspective.
- **Qualité du modèle d'étalonnage** : la qualité du modèle d'étalonnage peut également affecter la précision des résultats d'étalonnage de la caméra. Les motifs d'étalonnage doivent être plats, rigides et avoir un contraste élevé pour garantir que la géométrie du motif est visible dans l'image. De plus, le motif doit être suffisamment grand pour couvrir tout le champ de vision de la caméra.
- **Nombre de vues** : le nombre d'images utilisées pour l'étalonnage de la caméra peut également affecter la précision des résultats. L'utilisation d'un plus grand nombre d'images peut fournir plus d'informations sur la matrice de projection de la caméra, ce qui permet d'obtenir des estimations plus précises. Cependant, l'utilisation d'un trop grand nombre d'images peut également augmenter le coût de calcul du processus d'étalonnage.
- **Bruit et valeurs aberrantes** : le bruit et les valeurs aberrantes dans les données d'image peuvent également affecter la précision des résultats d'étalonnage de la caméra. Le bruit peut introduire des erreurs aléatoires dans l'estimation de la matrice de projection de la caméra, tandis que les valeurs aberrantes peuvent introduire des erreurs systématiques. L'utilisation de techniques d'estimation robustes, telles que RANSAC, peut aider à atténuer les effets du bruit et des valeurs aberrantes.

1.3.1 Les différents techniques de calibrage

De nombreux travaux ont été réalisés, à commencer par la communauté de la photogrammétrie et plus récemment en vision par ordinateur.

Nous pouvons classer ces techniques grossièrement en deux catégories :

- Calibrage photogrammétrique : L'étalonnage est effectué en observant un objet d'étalonnage dont la géométrie dans l'espace 3D est connue avec une très bonne précision. L'étalonnage peut être effectué de manière très efficace. L'objet d'étalonnage est généralement constitué de deux ou trois plans orthogonaux entre eux. Parfois, un plan subissant une translation précisément connue est également utilisé. Ces approches nécessitent un appareil d'étalonnage coûteux et une configuration élaborée ZHENGYOU ZHANG, 1999.
- Etalonnage en vision par ordinateur : Notre compréhension sur l'étalonnage de la caméra en vision par ordinateur se base sur la littérature de l'article REMONDINO et FRASER, 2006. Selon lui les modèles d'étalonnage pour la vision industrielle et par ordinateur utilisent traditionnellement des grilles de référence, la matrice d'étalonnage K étant déterminé à l'aide d'images d'un réseau de points d'objets connu (par exemple un motif en damier). Les méthodes couramment adoptées sont celles de Tsai, Heikkila et Silven et Zhang ZHENGYOU ZHANG, 1999 Cité dans celui-ci. Ceux-ci sont tous basés sur le modèle de caméra sténopé et incluent des termes pour modéliser la distorsion radiale.
- Auto-calibrage. Les techniques de cette catégorie n'utilisent aucun objet d'étalonnage. En déplaçant simplement une caméra dans une scène statique, la rigidité de la scène fournit en général deux contraintes sur les paramètres internes des caméras à partir d'un déplacement de caméra en utilisant uniquement les informations d'image. Par conséquent, si les images sont prises par la même caméra avec paramètres internes fixes, les correspondances entre trois images suffisent pour récupérer à la fois les paramètres internes et externes qui permettent de reconstruire la structure 3D jusqu'à une similarité ZHENGYOU ZHANG, 1999.

1.3.2 Les méthodes de calibrage

Méthode de Zhang Zhengyou

La méthode de calibrage proposé par zhang Zhengyou connue sous le nom méthode de calibrage de caméra basée sur le plan d'échiquier est une technique simple, flexible et réalisable à moindre coût.

Cette technique proposée nécessite uniquement que la caméra observe un motif plan affiché dans quelques (au moins deux) orientations différentes. Le motif peut être imprimé et fixé sur une surface plane « raisonnable » (par exemple, une couverture de livre rigide). La caméra ou le motif planaire peuvent être déplacés à la main. L'approche proposée se situe entre le calibrage photogrammétrique et l'auto-calibrage car ils utilisent des informations métriques 2D plutôt que 3D ou purement implicites.

Dans l'article le travail a été regroupé en quatre sections qui sont :

- **La section 1 (Les contraintes de bases liées à l'observation d'un seul plan) :** Comporte la notation de la matrice du caméras et les deux contraintes lié aux paramètres intrinsèques.
- **La section 2 (La procédure de calibrage) :** aborde d'abord la solution fermé qui permet de résoudre les contraintes liées aux paramètres intrinsèques , ensuite la technique d'optimisation non linéaire basée sur le critère du maximum de vraisemblance pour affiner les paramètres avec l'algorithme de Levenberg Marquardt et enfin la prise en compte de la distorsion radial de la lentille pour corriger la distorsion.
- **La section 4** étudie les configurations dans lesquelles la technique d'étalonnage proposée échoue
- **La section 5** fournie les résultats expérimentaux.

1.4 Notion de mesure de distance numérique

1.5 Structuration du travail

1.5.1 Feuille de route technologique

1.5.2 Choix technologique

Chapitre 2

Implémentation

2.1 Processus de calibrage

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre 1, le calibrage de notre caméra va nous permettre d'estimer les différents paramètres de celle-ci afin d'avoir des mesures précises. Ce calibrage va nous permettre de convertir les coordonnées d'images(pixels) en coordonnées réelles dans le monde physique(comme des distances en mètres).

Exemple d'image utilisée

Bibliographie

Les différents types de caméra (jan. 2015). fr-FR. URL : <https://videoclipmakers.fr/les-differents-types-de-cameras/> (visité le 06/03/2024).

ORTEU, Jean-José (s. d.). « Calibrage géométrique d'une caméra ou d'un capteur de vision stéréoscopique ». fr. In : ().

Qu'est-ce qu'une caméra ? (s. d.). *Qu'est-ce qu'une caméra ? Apprenez les composants clés* | Lenovo CA. fr. URL : <https://canada.lenovo.com/fr/ca/en/glossary/camera-components/> (visité le 05/03/2024).

REMONDINO, Fabio et Clive FRASER (2006). « Digital camera calibration methods : Considerations and comparisons ». en. In : Medium : application/pdf Publisher : ETH Zurich. DOI : 10.3929/ETHZ-B-000158067. URL : <http://hdl.handle.net/20.500.11850/158067> (visité le 24/02/2024).

ZHENGYOU ZHANG (1999). « Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations ». en. In : *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*. Kerkyra, Greece : IEEE, 666-673 vol.1. ISBN : 978-0-7695-0164-2. DOI : 10.1109/ICCV.1999.791289. URL : <http://ieeexplore.ieee.org/document/791289/> (visité le 19/03/2024).