



HAL
open science

Vers un protocole de calibration de caméras statiques à l'aide d'un drone

Jean-François Villeforceix, Benjamin Bigot

► **To cite this version:**

Jean-François Villeforceix, Benjamin Bigot. Vers un protocole de calibration de caméras statiques à l'aide d'un drone. ORASIS 2021, Centre National de la Recherche Scientifique [CNRS], Sep 2021, Saint Ferréol, France. hal-03339675

HAL Id: hal-03339675

<https://hal.science/hal-03339675>

Submitted on 9 Sep 2021

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.

Vers un protocole de calibration de caméras statiques à l'aide d'un drone

Jean-François Villeforceix

Benjamin Bigot

Enquêteurs spécialisés, Département Technique, Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) pour la sécurité de l'aviation civile

10 rue de Paris 93350 Le Bourget
com@bea.aero

Résumé

Nous présentons un protocole de calibration d'une caméra statique. Ce type de caméra est singulier en photogrammétrie car l'utilisateur ne peut pas modifier son point de vue. Lorsque ce dernier n'est pas orienté vers des références connues, il devient alors impossible de calculer les paramètres de la caméra. Le BEA est amené à travailler sur des données issues de caméras statiques pour lesquelles il ne dispose que d'informations basiques (modèle, focale). La difficulté réside à la fois dans l'imprévisibilité des configurations rencontrées et les contraintes opérationnelles liées à l'enquête. Un protocole de calibration adapté à ces caméras spécifiques a été défini afin de répondre à ces 2 problématiques propres au BEA.

Mots Clef

Calibration, caméra statique, drone, relèvement

Abstract

This article presents an experimental protocol for the calibration of a static camera. This type of camera is unique in photogrammetry because the user cannot change its point of view. When the camera is not oriented towards ground references, it becomes impossible to calculate the parameters of the camera. BEA works on data from static cameras for which it only has basic information (model, focal length). The difficulty lies in both the unpredictability of encountered configurations and the operational constraints linked to the investigation. A calibration protocol adapted to these specific cameras has been defined in order to respond to these two specific issues.

Keywords

Calibration, static camera, drone, space resection

1 Introduction

Le BEA est l'organisme public français en charge des enquêtes de sécurité de l'aviation civile. Il détermine les circonstances de l'accident, produit un rapport d'enquête et émet si nécessaire des recommandations de sécurité.

Tous les avions ne sont pas équipés d'enregistreurs de vol et de plus en plus souvent il arrive que la seule source d'information disponible pour établir les circonstances d'un accident soit une vidéo (caméra embarquée, vidéo de témoin ou d'une caméra de vidéosurveillance). À l'aide de ces données, les analystes vidéo du BEA cherchent à déterminer la trajectographie de l'appareil. Ce travail n'est réalisable que si la calibration de la caméra est connue.

Le BEA met déjà en œuvre plusieurs méthodes d'étalonnage [1], mais se heurte à la difficulté des caméras statiques, de faible résolution, filmant peu de repères au sol. Or cette configuration est courante notamment avec les vidéosurveillances d'aérodromes.

Nous présentons dans ce papier un protocole de résolution de la calibration et de l'orientation absolue de caméras statiques, repoussant les limites de l'existant du fait du contexte opérationnel dans lequel il s'inscrit et de la multiplicité des cas d'usage auxquels il pourra s'appliquer. Notre solution utilise un drone se déplaçant dans le champ de la caméra d'intérêt comme vecteur de points d'appui. Nous complétons notre présentation avec une application réelle à un système de caméras statiques stéréoscopiques.

2 Protocole de calibration

Il existe deux types de méthodes de calibration de caméra. Dans le premier cas [2] les informations disponibles dans les données sont suffisantes pour estimer les paramètres de la caméra. Dans le second cas, il faut apporter de l'information additionnelle *a posteriori* via des dispositifs comme un polygone d'étalonnage [3]. Dans ces deux scénarii, la caméra est supposée être à disposition de l'opérateur. Nous nous situons dans un cadre où la caméra ne peut pas être déplacée et nous proposons d'utiliser un drone comme moyen mobile d'apport de l'information nécessaire à la calibration.



Figure 1 - Principe de la calibration

Le principe de calibration proposée est présenté en Figure 1. Un télépilote fait évoluer dans le champ d'une caméra un drone équipé d'un GPS et d'une caméra haute définition pivotable. Des cibles (GCP : *Ground Control Points*) ont été préalablement disposées et géoréférencées dans la zone survolée. Le drone est ensuite positionné sur les nœuds d'une grille et une photo du sol est prise à chaque position. Cette prise de vues permet l'orientation absolue du drone. Le recouvrement nécessaire à l'orientation du drone est assuré par la proximité des nœuds de la grille. Réciproquement, la taille apparente de ces points d'appui « volants » est déterminée par la distance entre la caméra et le drone. La caméra statique est ainsi calibrée et relevée dans l'espace via les informations collectées par le drone. Les données acquises par ce procédé sont hétérogènes. En

effet, la caméra fixe capture un flux vidéo continu, tandis que le drone acquiert des images. Dans la pratique, il est possible de synchroniser les deux sources d'information soit à l'aide des LED du drone (qui s'éteignent lorsque qu'une photo est prise), soit à l'aide des *timecode* de la vidéo et l'horodatage des photos. Après synchronisation, la caméra statique est relevée dans l'espace par résolution de l'équation de colinéarité [4] (ou équation à 11 paramètres) nécessitant au minimum 4 points 3D. En pratique, 20 à 30 photos sont prises par le drone pour couvrir correctement le champ de la caméra. Cette quantité de relevés permet d'éliminer les valeurs aberrantes et d'affiner l'estimation. L'orientation absolue des clichés du drone dépend également des caractéristiques du terrain. Si le sol est texturé et qu'il n'y a pas de cibles au sol, il s'agira de réaliser une orientation relative et une bascule rigide du bloc images avec les données du GPS embarqué. Si le sol est peu texturé et que des cibles sont présentes au sol, le géoréférencement utilisera un relèvement image par image avec pré-calibration. Si le sol est texturé et que des cibles sont disposées au sol, la méthode utilisera une orientation relative et une bascule avec les points d'appui sol.

3 Application à une enquête de sécurité

Afin d'établir la trajectoire d'un aéronef impliqué dans un accident, le BEA s'est procuré les données de 4 caméras de vidéosurveillance ayant filmé avec une vue stéréoscopique l'évolution de l'avion. Les vidéos ont dans un premier temps été synchronisées à la *frame* près, puis des paires d'images ont été extraites. Les analystes vidéo du BEA se sont rendus sur site et ont appliqué le protocole de calibration décrit dans ce papier. Pour les besoins de cette étude, le géoréférencement du drone a été évalué à l'aide des 3 moyens de positionnement (GPS, relèvements au sol et GCP). Le *Tableau 1* présente les résultats obtenus sur la base de 101 prises de vue, où les résidus image sont les écarts 2D constatés lors de la mise en place relative, et les résidus terrain sont les écarts 3D entre les points d'appui et leur position estimée par la mise en place absolue.

		GPS	Relèvement	GCP
Résidus image	Moy	1,0 px	-	0,9 px
	Max	1,2 px	-	1,1 px
Résidus terrain	Moy	0,727 m	0,024 m	0,033 m
	Max	1,439 m	0,049 m	0,070 m

Tableau 1 - Comparatif de l'orientation des images du drone

La méthode par relèvement fonctionne image par image avec une pré-calibration et n'a pas de résidus image. Notre méthode (GCP) est à la fois cohérente entre images et avec le terrain. La précision de la méthode sans point d'appui est liée à celle du GPS embarqué. Les résidus obtenus lors du relèvement des caméras grâce à ces trois méthodes sont présentés en *Tableau 2*. Ce sont les écarts entre les positions du drone dans les images et la projection image par le relèvement spatial estimé des coordonnées 3D du drone. La méthode utilisant le GPS obtient des résidus

image comparables à celle s'appuyant sur des cibles au sol car elle conserve la mise en place relative des images mais propage également les incertitudes liées au GPS du drone.

	GPS		Relèvement		GCP	
	Moy	Max	Moy	Max	Moy	Max
CAM2	5,8	18,1	22,2	65,2	5,7	17,2
CAM3	70,1	162,8	45,4	113,5	20,2	43,7
CAM4	7,2	18,7	8,9	22,7	7,3	18,3
CAM6	6,6	13,6	123,4	194,8	7,5	12,4

Tableau 2 - Résidus du relèvement spatial des caméras

En l'absence de vérité terrain (trace GPS de l'avion par exemple), la pertinence des mises en place ainsi obtenues est évaluée à l'aide de deux méthodes différentes et éprouvées de géolocalisation d'objets vus par des caméras. La méthode (1) consiste à orienter une caméra déjà mise en place dans le référentiel objet [1]. La méthode (2) réalise une pseudo-intersection de faisceaux, c'est-à-dire qu'elle estime les coordonnées 3D d'un objet mesuré en 2D dans plusieurs images orientées. Les distances moyennes entre les points calculés par ces méthodes en XY, Z et en 3D sont présentées en *Tableau 3*. La vitesse est exprimée sur une seconde de vidéo. Les valeurs de ces paramètres sont cohérentes avec le vol de l'accident et les spécifications de l'avion mais restent confidentielles. La méthode (1), appliquée image par image, est bruitée car elle n'exploite pas la stéréoscopie au contraire de la méthode (2) qui utilise les points de vue des quatre caméras au même instant.

	ΔXY	ΔZ	ΔXYZ	ΔV
Différences	29,4m	52,0m	59,8m	2,9m/s

Tableau 3 – Écarts planimétrique, altimétrique, 3D et de vitesse

4 Conclusion et perspectives

Nous avons présenté un protocole de calibration de caméras statiques à l'aide d'un drone et démontré sa faisabilité par un cas pratique. Les perspectives sont multiples avec l'automatisation du post-traitement, avec le suivi (tracking) du drone ou l'assemblage automatique de la photo séquence à partir de la vidéo. La mesure de la précision de notre méthode à l'aide d'un vol planifié d'un avion instrumenté est également envisagée.

Bibliographie

- [1] J-F. Villeforceix, Automatisation de l'extraction des trajectoires 4D à partir d'enregistrements vidéo, *Congrès RFIAP et CFPT 2018*, 2018.
- [2] J-M. Lavest et al., Do We Really Need an Accurate Calibration Pattern to Achieve a Reliable Camera Calibration?, *European Conference on Computer Vision vol. 1*, pp. 158-174, 1998.
- [3] B. Cannelle et al., Calibration de caméra par acquisition de type panoramique, *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection n° 194*, 2011.
- [4] Y. Egels, La photogrammétrie, principes généraux et terminologie, *Cahiers de géographie, numéro 12*, 2011.