

Méthodes pratiques de restitution des paramètres de prise de vue

Renaud de PEUFEILHOUX †, Rémy TABOURIER, Ronan THOMAS, Yves DUFOURNAUD

THOMSON-CSF MISSILE ELECTRONICS
23-27 rue Pierre Valette
92245 MALAKOFF Cedex

RÉSUMÉ

Dans de nombreuses applications de traitement d'image telle que la reconnaissance de formes, il est parfois nécessaire de connaître les conditions de prise de vue pour pouvoir ajuster finement la géométrie de certains modèles. Des solutions générales à la restitution des paramètres de prise de vue existent mais sont parfois lourdes et délicates à mettre en oeuvre (calibration,...). Nous proposons dans cet article quelques méthodes permettant d'estimer, sous quelques hypothèses, certains de ces paramètres par un jeu d'équations relativement simples. La première est très générale et exploite les coefficients de la matrice homogène de transformation homographique. Les deux suivantes tirent profit de motifs géométriques dans l'image et de leurs correspondants dans la scène. Deux types de motifs sont proposés (motifs « segments » et « carré ») ainsi que d'autres méthodes pouvant conduire à des solutions simplifiées.

1. Introduction

Dans de nombreuses applications de reconnaissance de formes sur images il est nécessaire d'avoir une idée au moins approximative des conditions de prise de vue pour pouvoir ajuster finement le modèle de la forme recherchée à son empreinte dans l'image.

Il existe des solutions générales à ce problème de la restitution des conditions de prise de vue d'une image connaissant la scène 3D observée [1], [2].

Ces méthodes sont généralement basées sur l'exploitation de n couples de données : point dans l'image / point 3D de la scène correspondant. Le système d'équations à résoudre n'est souvent pas linéaire et nécessite la plupart du temps une résolution itérative par approximations successives [3]; la qualité des résultats va donc dépendre des variables d'état choisies pour cette résolution. À un moment ou à un autre du processus il sera vraisemblablement nécessaire de linéariser des équations et le choix des variables d'état se fera alors sentir suivant la configuration réelle de prise de vue. On peut noter aussi à propos de ces méthodes générales qu'il est nécessaire de disposer d'un assez grand nombre de couples pour arriver à une bonne précision statistique (étant donné qu'on ne fait généralement aucune hypothèse sur le choix de ces couples). Or, le repérage de points homologues sur l'image et la scène en nombre suffisamment grand n'est pas toujours aisé.

ABSTRACT

In many Image Processing applications such as Pattern Recognition, it can be necessary to know the camera parameters of the image for example to geometrically adjust a model. Some general solutions have been proposed but they are often heavy to implement. In order to have a quicker response, we propose in this paper some direct methods to estimate, under certain conditions, some of these parameters. These methods are based on the exploitation of the homogeneous matrix and two others on the query of simple patterns as a square or segments in the image and their corresponding points in the scene.

Nous proposons par une première méthode originale, d'estimer ces paramètres en exploitant les coefficients de la matrice de coordonnées homogènes. L'algorithme est relativement simple et direct (pas de recherche, d'itération ni d'approximation successive).

Il est parfois plus pratique de chercher dans l'image (resp. dans la scène) des motifs simples dont on peut repérer la projection dans la scène (resp. l'image) et aboutir à la résolution d'un système sans approximation successive.

Ainsi, dans cette voie, il a déjà été proposé d'utiliser pour restituer les paramètres de prise de vue, un rectangle au sol et la position de son empreinte dans l'image [4].

La démarche proposée ici part au contraire de l'image dans laquelle des motifs particuliers sont repérés ; à partir de mesures faites dans la scène sur les éléments correspondant à ces motifs on en déduit par un jeu d'équations simples les paramètres de prise de vue ou, du moins, une première estimation de ceux-ci.

Deux types de motifs paraissent particulièrement intéressants et deux applications ont été développées autour d'eux :

- la ligne d'horizon, une portion de l'axe vertical et une portion de ligne horizontale (motifs « segments »)
- un carré centré dans l'image.

Dans un dernier paragraphe sont évoqués d'autres motifs ou méthodes pouvant conduire à des solutions simplifiées.

2. Méthodes pratiques d'estimation des conditions de prise de vue

2.1 Méthode exploitant la matrice homogène associée à une homographie

Cette méthode [5] suppose la scène plane et (pour simplifier) horizontale.

De façon usuelle, on exprime la correspondance en perspective de deux plans par des expressions linéaires en coordonnées homogènes :

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ T' \end{pmatrix} \text{ avec } \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ T' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C' \\ L' \\ t' \end{pmatrix} = A \cdot \begin{pmatrix} C' \\ L' \\ t' \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} C \\ L \\ T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C' \\ L' \\ t' \end{pmatrix}$$

X,Y : coordonnées scène

C,L : coordonnées image

En fixant $t'=1$ et $a_{33}=1$ (paramètre d'homogénéité) on a 8 paramètres indépendants à estimer. Chaque paire de points $X(i), Y(i) \rightarrow C(i), L(i)$ fournit deux équations :

$$\begin{aligned} C(i).a_{11} + 0.a_{21} - C(i).X(i).a_{31} + L(i).a_{12} + 0.a_{22} - L(i).X(i).a_{32} + 1.a_{13} + 0.a_{23} &= X(i) \\ 0.a_{11} + C(i).a_{21} - C(i).Y(i).a_{31} + 0.a_{12} + L(i).a_{22} - L(i).Y(i).a_{32} + 0.a_{13} + 1.a_{23} &= Y(i) \end{aligned}$$

4 paires de points homologues suffisent donc pour calculer la matrice A de correspondance entre la carte et l'image. Si, par chance on peut disposer de plus de 4 paires de points, le système est surdéterminé; on en prendra la meilleure estimation au sens des moindres carrés. Ces résultats sont bien connus [1] [2].

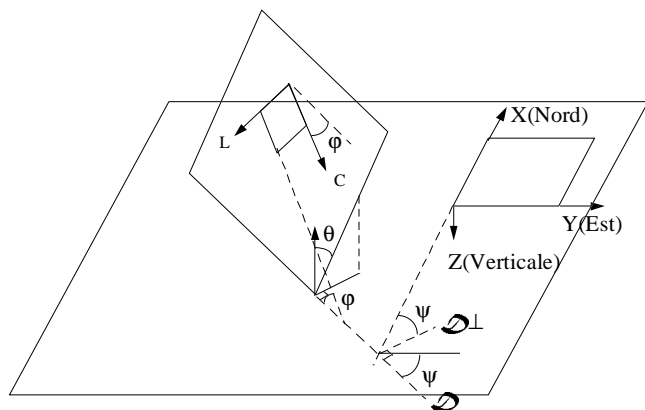


Figure 1 : schéma général et notations

Si les systèmes de coordonnées sont « ordinaires » (métrique usuelle), il est possible, à partir de la matrice A, de reconstituer les conditions de prises de vue, à savoir l'attitude (cap ψ , assiette Θ opposée au piqué et gîte Φ) de la caméra et sa distance ρ du centre de la scène photographiée. L'originalité de la méthode réside dans l'exploitation des coefficients de la matrice de changement de coordonnées homogènes.

Si la visée n'est pas verticale, le plan du sol et celui de l'image se coupent selon une droite ω à distance finie. La direction de cette droite est la seule dont le point à l'infini a son image à l'infini.

Ainsi, dans l'expression de changement de repère précédent, on effectue $t'=T'=0$, la troisième équation

s'écrit alors: $a_{31}C'_{\omega} + a_{32}L'_{\omega} = 0$ définissant une direction unique dans le plan image : celle de l'horizontale.

$$L'_{\omega} = -\frac{a_{31}}{a_{32}}C'_{\omega} = -\tan(\phi).C'_{\omega} \quad \text{d'où} \quad \phi = \text{Arc tan}\left(\frac{a_{31}}{a_{32}}\right)$$

Reportant C'_{ω}, L'_{ω} et $t'=0$ dans les deux premières équations, on en déduit la direction homologue dans le plan de la carte. La direction perpendiculaire (selon $\omega \perp$)

$$\text{fournit le cap } \Psi : \psi = \text{Arc tan}\left(\frac{a_{12}a_{31} - a_{11}a_{32}}{a_{21}a_{32} - a_{22}a_{31}}\right)$$

Le point à l'infini M_{∞} de l'axe de cap a pour coordonnées dans la carte $X'_{\infty}=\cos(\Psi), Y'_{\infty}=\sin(\Psi)$ et $T'_{\infty}=0$. Il faut résoudre le système linéaire $A [C'_{\infty} L'_{\infty} t'_{\infty}]^T = [X'_{\infty} Y'_{\infty} T'_{\infty}]^T$ pour en obtenir l'image m_{∞} . On rapporte ensuite le vecteur $C_{\infty}=C'_{\infty}/t'_{\infty}$ $L_{\infty}=L'_{\infty}/t'_{\infty}$ au centre de l'image ω , puis lui fait subir une rotation égale à l'angle de gîte. On calcule son module $r = |\omega.m|$ si on a une visée vers le bas. L'angle de piqué vaut $\theta = -\text{Arc tan}\left(\frac{r}{f}\right)$ où f est la focale de l'objectif.

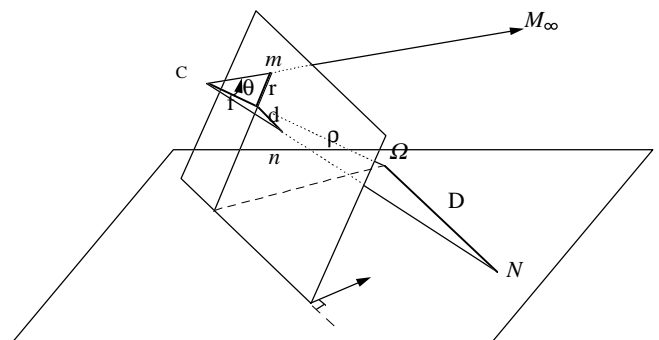


Figure 2 : calcul des paramètres de visée

Soient deux points quelconques de l'axe selon l'horizon de l'image distant de d , dont on connaît la longueur D au sol, la distance de la caméra au centre de la scène est donnée par $\rho = C\Omega = f \cdot \frac{D}{d}$

La position de la caméra est ainsi donnée en coordonnées sphériques par rapport au centre de la scène par $(\rho, \Psi + \Pi, -\Theta)$.

Cependant, il arrive souvent que l'on ne dispose pas des caractéristiques de l'appareil de prise de vue. Or on sait que la perspective ne dépend que du point de vue. On peut calculer la distance $C\Omega$ ainsi : deux points m et n de l'image situés à la même distance du centre image ω m sur la trace du plan vertical passant par ω et n sur l'horizontale sont projetés sur la carte selon M et N vérifiant :

$$\left| \frac{\sin \Theta}{\Omega N} \right| = \frac{1}{|\Omega N|} + \frac{\text{Signe}(\overline{\Omega M}) \cdot \cos(\Theta)}{\rho}$$

Ainsi deux couples (m,n) et (m',n') fournissent deux équations à deux inconnues en θ et ρ (rq: $\overline{\Omega N} / \overline{\Omega N'} = \overline{\omega n} / \overline{\omega n'}$). Le plus simple est de reprendre M_{∞} , les coordonnées de m_{∞} étant (C_{∞}, L_{∞}) , celle

de n sont $(-L_\infty, C_\infty)$. La distance $C\Omega$ est alors fournie par :

$$\rho = \left| \frac{\Omega N}{\tan \Theta} \right|$$

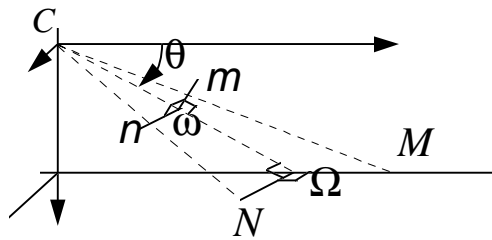


Figure 3 : calcul de $C\Omega$

2.2 Motifs « segments »

On propose ici de calculer les paramètres de prise de vue d'un capteur inconnu à partir de données images sous forme de segments particuliers dont on peut connaître la longueur au sol (ex:carte topographique).

La modélisation implique certaines conditions ou hypothèses sur l'image :

- axe optique centré sur l'image (origine des coordonnées images). Pixels carrés.
- scène plane
- horizon visible ou calculable (points de fuite)
- prise de vue exempte ou débarrassée du roulis (rotation déterminée par l'horizon et les axes de l'image)

sous lesquelles il est possible de déterminer :

- la hauteur h de prise de vue
- l'angle de site (ici égal à $\pi/2-\beta$)
- la focale f
- les angles d'ouverture α_v et α_h

modélisation géométrique

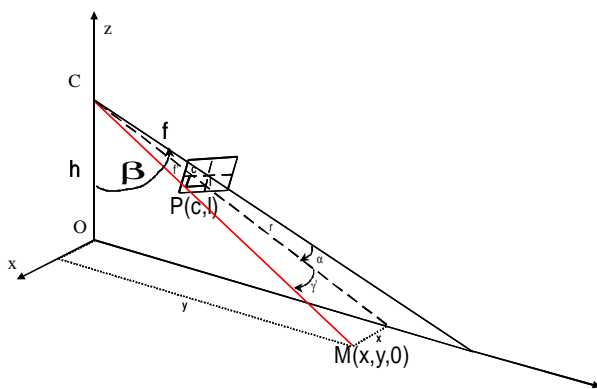


Figure 4 : modèle de la prise de vue

$$y = h * \tan(\beta + \alpha(c,l)) \quad \text{avec } \beta = \text{Arc tan}\left(\frac{-n}{f}\right) \text{ et } \alpha(c,l) = \text{Arc tan}\left(\frac{l}{f}\right)$$

$$\text{d'après } \tan(a+b) = \frac{\tan(a) + \tan(b)}{1 - \tan(a) * \tan(b)}$$

$$\text{on obtient: } y = h * f * \frac{1-n}{f^2 + 1 * n}$$

(nb : $n=f*\tan(-\beta)$ représente la ligne image verticale théorique au sol pour le capteur)

$$x = r * \tan(\gamma') = r * \frac{c}{f'} = r * \frac{c}{\sqrt{f^2 + l^2}} \quad \text{avec } r = \frac{h}{\cos(\beta + \alpha(c,l))}$$

$$\text{d'après : } \cos(a+b) = \cos(a) * \cos(b) - \sin(a) * \sin(b)$$

$$\cos(\text{Arc tan}(x)) = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \quad \text{et} \quad \sin(\text{Arc tan}(x)) = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$$

$$\text{on obtient : } x = h * \sqrt{f^2 + n^2} * \frac{c}{f^2 + 1 * n}$$

données nécessaires:

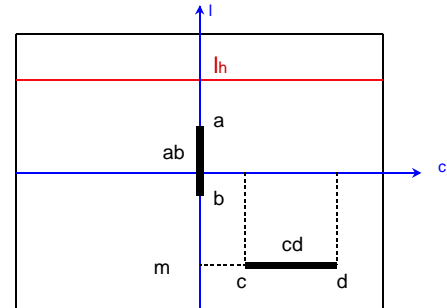


Figure 5 : données images et carte

- l_h : numéro ligne horizon dans l'image
- $A(0,a), B(0,b)$: segment « vertical » passant sur l'axe vertical de l'image
- ab : longueur au sol du segment[AB]
- $C(c,m), D(d,m)$: segment « horizontal » quelconque
- cd : longueur au sol du segment[CD]
- nl, nc : nombre de lignes et de colonnes de l'image

mise en équation

$$x_d - x_c = h * \sqrt{f^2 + n^2} * \frac{d - c}{f^2 + m * n} = cd$$

$$y_b - y_a = h * f * (f^2 + n^2) * \frac{b - a}{(f^2 + b * n) * (f^2 + a * n)} = ab$$

$$\text{à l'horizon : } f^2 = -l_h * n$$

Calcul des paramètres de prise de vue :

$$\left. \begin{aligned} A &= \left(cd * \frac{m - l_h}{d - c} \right)^2 \\ B &= -l_h \\ C &= \frac{\left(ab * \frac{(b - l_h) * (a - l_h)}{b - a} \right)^2}{-l_h} \\ \text{avec } n &= \frac{C}{A} - B \end{aligned} \right\} \begin{aligned} f &= \sqrt{-l_h * n} \\ h &= \sqrt{\frac{A * n}{B + n}} \\ \beta &= \text{Arc tan}\left(\frac{-n}{f}\right) \\ \alpha_v &= 2 * \text{Arc tan}\left(\frac{nl/2}{f}\right) \\ \alpha_h &= 2 * \text{Arc tan}\left(\frac{nc/2}{f}\right) \end{aligned}$$

En introduisant un changement de variable résolvant le système sans approximation, on détermine une solution analytique unique. La précision n'est liée qu'à la précision des données et à la conformité de l'image aux conditions initiales imposées par la modélisation. Le calcul des paramètres est direct mais il est possible d'effectuer plusieurs mesures et d'évaluer les paramètres par une technique aux moindres carrés pour une meilleure robustesse.

2.3 Motif « Carré »

A partir d'une photo aérienne et d'une carte topographique assez précise, on détermine la position du point de vue, le champ de prise de vue et l'angle de site. La modélisation du problème suppose la photo prise à roulis nul comme précédemment.

La méthode consiste à rechercher dans l'image un carré BDAE (le plus grand possible) dont les sommets soient sur les axes de l'image et repérables sur une carte.

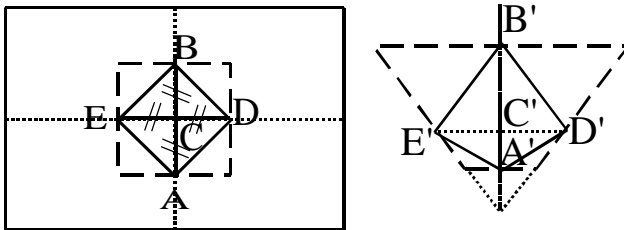


Figure 6 : motif carré centré

Le calcul des paramètres est fondé sur la notion géométrique d'arc capable entre les points spécifiés (méthode de la « pyramide capable »). Les segments AC, BC, DC et EC sont vus sous le même angle δ . La position du centre optique se définit comme l'intersection des arcs capables d'angle δ passant par les homologues au sol des sommets.

α représente l'angle d'ouverture, z la hauteur, d la distance au sol du point du centre optique à la verticale du capteur.

$$\text{On note : } 2*a = A'C, 2*b = B'C, 2*c = D'E$$

Les paramètres de prise de vue se calculent par :

$$\tan(\alpha) = \frac{c*(b-a)}{\sqrt{16*a^2*b^2 - c^2*(a+b)^2}}$$

$$z = \frac{c^2*(a+b)}{4*a*b*\tan(\alpha)}$$

$$d = \frac{c^2*(b-a)}{4*a*b*\tan^2(\alpha)}$$

2.4 Autres méthodes

Il existe d'autres méthodes d'estimation relativement connues (mais parfois oubliées) que l'on peut utiliser assez facilement :

- *méthode du bi-rapport* [6] : la position au sol de l'appareil photographique est à l'intersection de deux coniques définies par un même bi-rapport à l'aide de 5 points. On exploite ici la propriété d'invariance du bi-rapport qui est conservé dans la projection perspective.
- *méthode par les droites de visée* [7] : on détermine la position du centre optique comme l'intersection de (au moins deux) droites de visée. On recherche dans

l'image un pixel correspondant à deux points physiques distincts et repérables de la scène (ex : le haut d'un clocher avec un point repérable au sol).

- Il existe encore d'autres méthodes connues permettant de calculer les conditions de prise de vue (recherche de points de fuite, variation d'échelle,...).

3. Conclusion

Ces méthodes d'estimation de prise de vue sont relativement simples et directes. Elles tirent profit de propriétés géométriques et analytiques de certains éléments de l'image. L'utilisateur choisit la méthode en fonction de la qualité des données images et cartographiques dont il dispose. Les résultats sont liés à cette qualité et ne sont que des estimations.

4 Références

- [1] O. FAUGERAS : « *Three-Dimensional Computer Vision, A Geometric Viewpoint* ». The MIT Press. Cambridge, Massachusets. 1993
- [2] R. HORAUD et O. MONGA : « *Vision par ordinateur, outils fondamentaux* ». Traité des Nouvelles Technologies, série Informatique. Ed Hermes, Paris, 1993.
- [3] D. OBERKAMPF, F. DEMENTHON, L.S. DAVIS : « *Iterative Pose Estimation Using Coplanar Feature Points* ». Computer Vision and Image Understanding. Vol 63, n°3, May, pp 495-511, 1996.
- [4] R. HARALICK : « *Determining camera parameters from the perspective projection of a rectangle* ». Pattern Recognition. Vol 22, N°3, pp 225-230. 1989.
- [5] R.TABOURIER. « *Applications d'une correspondance entre images* ». Brevet THOMSON-CSF n° 96-14311 du 22.11.96
- [6] Article de Pour la Science « *D'où la photo a-t-elle été prise ?* ». Vision Géométrique. Dif. Belin.ISBN 2-9029-1872-0.
- [7] R.G. WILLSON and S.A. SHAFER : « *What is the Center of the Image ?* ». CMU-CS-93-122. April 1993.