

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 83 (1985)

Heft: 9: Sonderheft zum Rücktritt und 70. Geburtstag von Prof. Dr. Dr. h. c. H. H. Schmid

Artikel: Triangulation spatiale avec SPOT

Autor: Masson d'Autume, G. de

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-232619>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

- 3) Let the user choose the first two nodes, because he will certainly know which are the along- and across-strip directions, if the network length is much greater than its width.

Conclusion

Of the algorithms investigated, the bandwidth reduction methods are the most convenient to employ because most software for block bundle adjustments has been designed for banded matrices. For networks of moderate size, any of the bandwidth methods will suffice, if some inefficiency in computer utilization can be tolerated. All of the tested algorithms need additional tie-breaking rules, however, to perform as well as the idealized applications given in this paper.

If storage is not as important a consideration as speed, the banker's algorithm appears to be a good choice. If most networks are expected to be of the densification type, having side overlap of 60 per cent or more, then the heuristic algorithm seems to be a better all-round choice.

Acknowledgements

The author is indebted to Dr. Hellmut Schmid whose trust and guidance precipitated many interesting and challenging projects, including the one that led to this investigation. The author also wishes to acknowledge the help, suggestions, and encouragement given him in this investigation at various times over a period of several years by William Dillinger, Robert Hanson, and Allen J. Pope.

References

- Cuthill, E. and J. McKee, 1969. Reducing the bandwidth of sparse symmetric matrices. Proceedings of Association for Computing Machinery, 24th National Conference, 157-172.
- Doyle, Frederick J., Atef A. Elassal, and James R. Lucas, 1977. Selenocentric geodetic reference system, NOAA Technical Report NOS 70 NGS 5.
- Duff, I. S., 1976. A survey of sparse matrix research, Computer Science and Systems Division, AERE Harwell Report.
- Elasall, A. A., R. K. Brewer, G. Gracie, and M. Crombie, 1970. MUSAT IV, Final Technical Report, Raytheon Company, Alexandria, Virginia.

George, Alan, 1971. Computer implementation of the finite element method. Report STAN-CS-71-208, Stanford University Computer Science Department, Stanford, California.

Gibbs, Norman E., William G. Poole, Jr., and Paul K. Stockmeyer, 1976. An algorithm for reducing the bandwidth and profile of a sparse matrix. SIAM Journal of Numerical Analysis, 13, pp. 236-250.

Gyer, M., 1967. The inversion of the normal equations of analytical photogrammetry by the method of recursive partitioning, RADC TR-67-69, Rome Air Development Center, Rome, New York.

Slama, C. C., 1978. High precision analytical photogrammetry using a special reseau geodetic lens cone. Proceedings of ISP Commission III International Symposium, International Society of Photogrammetry, 31 July-5 August, Moscow, U.S.S.R.

Snay, R. A., 1976. Reducing the profile of sparse symmetric matrices, Bulletin Géodésique, 50, pp. 341-352.

Adresse des Verfassers:

James R. Lucas
Nautical Charting Division
Charting & Geodetic Services,
National Ocean Survey
National Oceanic and Atmospheric
Administration
Rockville, Maryland 20852, USA

Triangulation spatiale avec SPOT

G. de Masson d'Autume

1. Introduction

Le satellite SPOT, dont le lancement est prévu pour octobre 1985, est muni de deux imageurs «à défilement» HRV1 et HRV2 pouvant fonctionner en mode panchromatique ou multispectral. Le récepteur est constitué par une barrette de détecteurs à transfert de charge, ou CCD, disposés linéairement dans le plan focal d'un objectif dont la distance focale est de 1082 mm. En mode panchromatique, la barrette contient 6000 détecteurs de $13 \times 13 \mu\text{m}$.

L'altitude moyenne du satellite est de 830 km et sa vitesse de 7 km/sec. A un instant donné, l'ensemble des points de l'espace-objet dont l'image se forme sur l'axe de la barrette est contenu dans un plan dit «plan de visée», approximativement vertical et normal au déplacement. La partie utile de la trace du plan de visée sur la surface terrestre balaie une bande de terrain de 50 à 70 km.

A des intervalles de 1,504 ms, correspondant à un déplacement de 10 m environ, les charges accumulées dans l'intervalle par chacun des détecteurs sont enregistrées sous forme d'un entier compris entre 0 et 255. Les 6000 valeurs constituent une ligne de l'image numérique.

Un miroir orientable télécommandé permet de faire varier l'inclinaison latérale du rayon central de -27° à $+27^\circ$ par pas de $0,6^\circ$. Des images différentes d'une même région peuvent donc être enregistrées à partir de plusieurs orbites, l'angle d'intersection des rayons pouvant atteindre près de 60° . Cette particularité, jointe à une résolution au sol voisine de 10 m, permet d'envisager l'utilisation de SPOT pour la triangulation spatiale, c'est-à-dire le calcul des coordonnées de points inconnus à partir d'un petit nombre de points connus, exactement comme dans l'aérottriangulation.

2. Notations

Les référentiels utilisés seront en principe désignés par une lettre: G, S, I, ... Par convention (AB) est la matrice-rotation qui donne les composantes V_B du vecteur V dans le repère B à partir des composantes V_A dans le repère A par la formule:

$$V_B = (AB) V_A \quad (1)$$

Une rotation quelconque peut être représentée par un vecteur ω dont la direction est celle de l'axe de rotation et le module la valeur de l'angle en

radians. Dans un changement de repère, les vecteurs-rotation sont transformés par la formule (1).

Les rotations «élémentaires», effectuées autour des axes d'un repère cartésien orthonormé, seront notées (i, a), i étant le numéro de l'axe et a la valeur de l'angle. Les notations α , β , γ et t, r, l seront aussi utilisées.

3. Référentiels utilisés

- Repère inertiel (pour mémoire)
- G: Repère cartésien géocentrique international 1980.
- S: Repère orbital local (fig. 1)

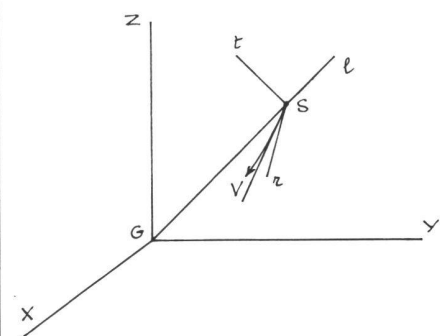


Fig. 1 Définition du repère orbital local dans le référentiel inertiel.

Il est construit sur les vecteurs S et V , position et vitesse inertielle dans le repère G . L'origine est le centre de masse du satellite, l'axe de lacet est le vecteur S . L'axe de tangage est le produit vectoriel $V \wedge S$. L'axe de roulis est le vecteur $S \wedge V \wedge S$, voisin de V .

– S' : Repère satellite.

Il est défini par les axes de construction du satellite. On passe du repère S au repère S' par la rotation ω , dont les composantes sont les rotations t, r, l (tangage, roulis, lacet). Noter que la rotation s'applique aux vecteurs et non aux repères.

– I : Repère interne.

L'origine est le point nodal arrière de l'objectif. L'axe des x est parallèle à celui de la barrette.

On passe du repère interne I au repère S' par la chaîne de rotations élémentaires:

– $(1, t_0)$ dépointage systématique en tangage, imposé par construction et dû au fait que l'axe de la barrette est excentré par rapport au point principal. La valeur de t_0 est 0,529.

– $(2, r_0)$ dépointage systématique en roulis. r_0 a pour valeur:

$$r_0 = 0,163^\circ + 0,6^\circ (n-48)$$

où n est la valeur du pas-miroir télécommandé, variant de 3 à 93.

Le premier terme est imposé par construction et son signe est différent pour HRV1 et HRV2.

– I' : Repère intermédiaire

Le passage de S à I s'effectue par la chaîne de rotations ω , $-r_0$, $-t_0$ équivalente à la chaîne $-r_0$, $-t_0$, ω' où ω' (t', r', l') est le transformé de ω (t, r, l) par les rotations successives $-r_0$, $-t_0$.

Le repère intermédiaire I est très voisin du repère interne I , mais n'est pas affecté par les variations des paramètres d'attitude.

Les référentiels suivants servent à repérer la position des points du terrain plus commodément que le repère G .

– O : repère horizontal

L'origine est un point quelconque, voisin de la surface terrestre, de coordonnées géographiques λ_0 , φ_0 et d'altitude h_0 . L'axe des z est la verticale locale, l'axe des y est dans le plan méridien, dirigé vers le Nord. On passe du repère G au repère O par les rotations successives:

$$(3, -\lambda_0 - \pi/2), (1, \varphi_0 - \pi/2)$$

Une rotation supplémentaire $(3, \gamma)$ permet d'orienter à volonté l'axe Ox .

– Systèmes de coordonnées rectangulaires

La position d'un point est définie par ses coordonnées rectangulaires dans une projection conforme: Lambert, UTM, etc... Pour une scène, correspondant à une durée d'enregistrement de 9 secondes et couvrant une surface de l'ordre de 60×60 km, il est intéressant

d'utiliser une projection locale définie comme suit:

Soit O le centre de scène, h_0 l'altitude moyenne, ρ le rayon de courbure moyen de l'ellipsoïde en O , C le centre de courbure moyen. Les coordonnées rectangulaires x, y d'un point A sont les coordonnées cartésiennes de la trace du rayon CA sur la sphère de centre C et de rayon $\rho + h_0$ dans le repère horizontal O , où l'angle γ a été choisi de manière que l'axe des x coïncide avec la trace du plan de visée sur le plan horizontal de O (Guichard). L'altitude est égale à $CA - (\rho + h_0)$.

– Projection pseudo-Mercator oblique

Pour un segment de quelques centaines de km de long, ou plusieurs segments couvrant une bande de terrain de largeur inférieure à 100 km, on peut utiliser la projection suivante:

Partant du repère horizontal O ci-dessus, l'angle γ est choisi de manière à minimiser les écarts en x . On définit alors les quantités:

$$\lambda' = \arctg [y/(z + \rho + h_0)]$$

pseudo-longitude

$$\varphi' = \arctg [x/\sqrt{y^2 + (z + \rho + h_0)^2}]$$

pseudo-latitude

et les coordonnées pseudo-Mercator sont:

$$x' = (\rho + h_0)\lambda'$$

$$y' = (\rho + h_0)\varphi'$$

$$h' = \sqrt{x'^2 + y'^2 + (z + \rho + h_0)^2} - (\rho + h_0)$$

Les pseudo-altitudes h' peuvent différer de quelques mètres des altitudes vraies, ce qui est sans importance.

4. Données disponibles

La zone à traiter est couverte par M passages du satellite, sensiblement parallèles. A partir de chaque segment d'orbite, les images d'une, ou éventuellement deux bandes de terrain, ont été enregistrées par les imageurs HRV1 et HRV2, avec un pas-miroir connu. Pour chaque segment, les éphémérides publiés par le C.N.E.S. donnent, pour chaque minute de temps TU , les valeurs approchées des composantes des deux vecteurs S et V , position et vitesse inertielle du satellite, dans le repère G .

En outre, 3 gyromètres embarqués fournissent, au pas de 0,125 sec, les vitesses de rotation autour des 3 axes de S' , dont l'intégration numérique donne, à une constante près, les valeurs des paramètres d'attitude, t, r, l . Les constantes sont choisies pour que ces valeurs soient nulles à l'instant central, pris comme origine des temps. Pour les N points de triangulation choisis, les coordonnées-image p et q , dont les valeurs entières sont le numéro de ligne et le numéro de colonne (i.e. le numéro du détecteur dans la barrette), sont mesurées au stéréo-comparateur

ou obtenues par corrélation automatique, sur toutes les images où ils figurent.

Pour chaque image, la relation $T = T_0 + 0,00154 p$ permet de calculer le temps T en fonction de p . Par ailleurs l'abscisse-barrette dans le repère I est donnée en fonction de q par la formule:

$$x_b = 0,013 (3000,5 - q) \text{ en mode panchronomatique.}$$

Les composantes de S et V peuvent être interpolées par un polynôme de Lagrange de degré 7 sur 8 minutes rondes T encadrant l'instant T selon la formule:

$$F(T) = \sum c_i F(T_i) \quad i \text{ variant de } 1 \text{ à } 8$$

En posant: $A_i = \Pi(T - T_i)$ et $B_i = \Pi(T_i - T_j)$, pour $j \neq i$ variant de 1 à 8 on a: $c_i = A_i/B_i$ (En passant par l'intermédiaire des paramètres osculateurs des arcs d'orbite, on peut utiliser un polynôme de degré 3 sur 4 points seulement, mais le calcul est un peu plus compliqué).

Les termes des lignes 1, 2, 3 de la matrice (GS) sont les cosinus directeurs des vecteurs $V \wedge S$, $S \wedge V \wedge S$, S .

5. Modélisation classique

5.1. Pose des équations d'observation pour un rayon.

Soit P et S les positions approchées d'un point de triangulation de coordonnées-image p et q et du satellite à l'instant T déduit de p . Les vecteurs P et S sont donnés dans un repère cartésien lié à la terre, par exemple le repère horizontal du centre O de la zone de travail. Les origines des repères S et I seront supposées confondues.

La direction «calculée» du rayon est définie par le vecteur $U = P - S$. Dans le repère I , elle est définie par le vecteur $W = (OI)U$, avec $(OI) = (GI)(OG)$ et $(GI) = (SI)(GS)$, ou encore par les paramètres directeurs:

$$u_c = W_1/W_3 \text{ et } v_c = W_2/W_3$$

Dans le repère interne I , la direction «observée» du rayon est définie par les paramètres directeurs:

$$u_o = x_b/f \text{ et } v_o = O$$

où f est la distance principale, égale à la focale divisée par $\cos(t_0)$ pour tenir compte du décentrement de la barrette. Les équations d'observation s'écrivent:

$$u_c + du_c = u_o \text{ et } v_c + dv_c = v_o$$

où du et dv sont les accroissements résultant des corrections dP , dS et dR (α , β , γ), définies dans le repère I . Ces accroissements sont:

$$du_c = (dW_1 - u_d W_3)/W_3 -$$

$$- \alpha u v + \beta(1 + u^2) - \gamma v$$

$$dv_c = (dW_2 - v_d W_3)/W_3 -$$

$$- \alpha(1 + v^2) + u v + \gamma u$$

avec $dW = dP - dS$.

Les différences entre les paramètres observés et calculés étant petites et tendant vers zéro dans le calcul itératif, on peut prendre pour u et v les valeurs observées. On a alors:

$$du_c = (dW_1 - u dW_3)/W_3 + \beta(1 + u^2) \\ dv_c = (dW_2 - v dW_3)/W_3 - \alpha + \gamma u$$

En posant:

$$A = \begin{bmatrix} 1/W_3 & 0 & -u/W_3 \\ 0 & 1/W_3 & 0 \\ -1 & 0 & u \end{bmatrix}, \\ B = \begin{bmatrix} 0 & 1 + u^2 & 0 \\ -1 & 0 & u \end{bmatrix}, L = \begin{bmatrix} x_b/f - W_1/W_3 \\ -W_2/W_3 \end{bmatrix}$$

les équations d'observation s'écrivent:

$$A(dP - dS) + BdR = L$$

ou encore, en posant

$$C = A(OI), D = A(SI), E = B(SI):$$

$$CdP - DdS + EdR = L$$

où dP se réfère au repère O , dS et dR au repère S .

Les corrections (instantanées) dS et dR sont des fonctions de T . Pour des segments de quelques centaines de kilomètres de longueur, en se basant sur les simulations d'orbite et d'attitude du C.N.E.S., dS peut se représenter par des polynômes du premier degré et dR par des polynômes du second degré, dont les coefficients sont les inconnues du problème. En explicitant ces polynômes, les équations d'observation deviennent:

$$C \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} - D \begin{bmatrix} a + a'T \\ b + b'T \\ c + c'T \end{bmatrix} + E \begin{bmatrix} d + d'T + d''T^2 \\ e + e'T + e''T^2 \\ f + f'T + f''T^2 \end{bmatrix} = L$$

5.2 Equations d'observation complémentaires

Aux équations d'observation écrites pour chaque rayon s'ajoutent pour les points connus des équations du type $dX=0$, $dY=0$, $dZ=0$.

Le traitement par moindres carrés de l'ensemble des équations conduit à un système d'équations normales très mal conditionné, par suite de la corrélation entre les inconnues dS et dR : il est clair en effet que, pour une altitude du satellite constante, le résultat d'un déplacement tangentiel a de S sera pratiquement identique à celui d'une rotation en tangage d . Cette difficulté peut être éliminée en introduisant des équations d'observation fictives du type $a=0$, $b=0$, ..., $e''=0$, $f''=0$, ce qui a en outre l'avantage d'assurer l'existence d'une solution si le nombre de points connus est insuffisant, ou même nul.

Les équations d'observation complémentaires doivent être pondérées en fonction de la précision estimée des valeurs approchées des inconnues: on sait par exemple que la valeur maximale du déplacement tangentiel a est de 1000 m et celle de d de 0,15°. Pratiquement, cela revient à ajouter une constante appropriée au terme pivot de chaque inconnue dans les équations normales. La solution dépendra des poids adoptés, mais cela n'empêchera pas les rayons d'être bien déterminés au voisinage du sol.

Cette constatation a conduit à la mise au point d'une autre modélisation du système imageur, inspirée en partie par les travaux de Guichard.

6. Traitement par modélisation au voisinage du sol

Dans cette conception, les points de triangulation sont repérés par leurs coordonnées rectangulaires x , y et leur altitude h dans un des systèmes de projection énumérés plus haut. La trace O de l'axe S_z du repère intermédiaire I' sur la surface $h=0$ est une courbe régulière, puisque l'orientation de cet axe est corrigée des variations d'attitude enregistrées par les gyro-mètres embarqués. Elle peut être représentée par les polynômes en T :

$$x = a + a'T + a''T^2 + \dots \\ y = b + b'T + b''T^2 + \dots \quad (2)$$

On passe du repère horizontal O au repère intermédiaire I' par les trois rotations élémentaires successives γ , α , β dont la signification géométrique est évidente (fig. 2).

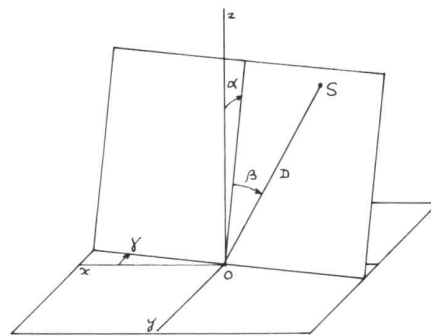


Fig. 2 Modélisation du système imageur au voisinage du sol.

Les angles α , β , γ et la distance $D=OS$ varient eux aussi lentement et régulièrement et peuvent être représentés par les polynômes:

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 T + \dots \\ \beta = \beta_0 + \beta_1 T + \dots \\ \gamma = \gamma_0 + \gamma_1 T + \dots \\ D = D_0 + D_1 T + D_2 T^2 + \dots \quad (3)$$

Des valeurs approchées des coefficients des développements de x_0 , y_0 , α , β , γ , D s'obtiennent aisément en calcu-

lant, pour chaque minute de TU, à l'aide des vecteurs S et V donnés par les éphémérides, l'intersection du rayon S_z du repère I' avec la surface $h=0$. Ce calcul effectué sur des données simulées, montre que les variations des six paramètres sont lentes, et que l'angle α reste de l'ordre de 10° .

Soit $P(x, y, h)$ un point de triangulation. Les formules (2) et (3) donnent les valeurs approchées de x_0 , y_0 , α , β , γ et D pour l'instant T .

A l'échelle locale en O de la projection, les coordonnées cartésiennes de P dans le repère O sont, en posant $k=(1+h/\rho)$, où P est le rayon de courbure moyen de la surface $h=0$:

$$x' = k(x - x_0) \\ y' = k(y - y_0) \\ z' = h - [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2]/2\rho$$

Dans le repère intermédiaire I' , la direction (calculée) du rayon PS est définie par le vecteur:

$$W = (OI')U + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ D \end{bmatrix}, \text{ avec } U = \begin{bmatrix} k(x_0 - x) \\ k(y_0 - y) \\ [(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2]/2\rho - h \end{bmatrix}$$

ou encore par les paramètres directeurs $u_c = W_1/W_3$ et $v_c = W_2/W_3$. La matrice (OI') correspond au produit des rotations successives γ , α , β .

Dans le repère interne I , la direction (observée) est définie par les paramètres $u = x_b/f$ et $v = 0$. On passe du repère I au repère I' par la rotation $-\omega'$ (t' , r' , l'), où ω' est le vecteur transformé de ω (t , r , l) par les rotations successives $-r_0$, $-t_0$. La direction du rayon dans le repère I' a donc pour paramètres:

$$u_0 = x_b/f - r'(1 + u^2) \text{ et } v_0 = t' - l'u$$

Les corrections dx , dy , dz , dh entraînent un accroissement:

$$dU = C \begin{bmatrix} dx_0 - dx \\ dy_0 - dy \\ -dh \end{bmatrix},$$

$$\text{avec } C = \begin{bmatrix} k & 0 & 0 \\ 0 & k & 0 \\ (x_0 - x)/\rho & (y_0 - y)/\rho & 1 \end{bmatrix}$$

L'accroissement correspondant de W est:

$$(OI')C \begin{bmatrix} dx_0 - dx \\ dy_0 - dy \\ -dh \end{bmatrix}$$

Par ailleurs l'introduction des corrections $d\alpha$, $d\beta$, $d\gamma$ transforme la chaîne de rotations γ , α , β en γ , $d\gamma$, α , $d\alpha$, β , $d\beta$ équivalente à γ , α , β , $d\gamma$, $d\alpha$, $d\beta$, où $d\alpha'$ est

le transformé de $d\alpha$ par la rotation β et dy' le transformé de $d\gamma$, par les rotations α, β .

L'accroissement correspondant de W est donc:

$$B \begin{bmatrix} d\alpha \\ d\beta \\ d\gamma \end{bmatrix}, \text{ avec}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & U_3 & -U_2 \\ -U_3 & 0 & U_1 \\ U_2 & -U_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \cos \alpha \sin \beta \\ 0 & 1 & -\sin \alpha \\ -\sin \beta & 0 & \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix}$$

En posant $A = (OI)C$, on a finalement:

$$dW = A \begin{bmatrix} dx_0 - dx \\ dy_0 - dy \\ -dh \end{bmatrix} + B \begin{bmatrix} d\alpha \\ d\beta \\ d\gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} dD$$

Les équations d'observation pour un rayon sont:

$$u_c + du_c = u_0 \quad \text{et} \quad v_c + dv_c = v_0$$

Les coefficients de $dx, dy, dh, dx_0, dy_0, dD, d\alpha, d\beta, d\gamma$ dans les expressions de du_c et dv_c sont donnés par les formules:

$$du_c = (dW_1 - u dW_3)/W_3 \quad \text{et}$$

$$dv_c = (dW_2 - v dW_3)/W_3$$

Ces coefficients sont ceux des inconnues correspondant aux termes indépendants de T . Ceux des inconnues correspondant aux termes en T, T^2 , etc.

... s'obtiennent en multipliant ceux des termes indépendants par T, T^2, \dots

Le vecteur des termes constants est:

$$L = \begin{bmatrix} x_b/f - r' (1 + u^2) - W_1/W_3 \\ t' - l'u - W_2/W_3 \end{bmatrix}$$

L'introduction d'équations d'observation complémentaires se fait exactement comme dans le traitement classique. Toutefois l'absence de corrélation entre les inconnues conduit à un système d'équations normales mieux conditionné, et la solution dépend beaucoup moins de la pondération adoptée.

7. Expérimentation et conclusions

Les deux méthodes présentées ont été essayées avec des orbites et des paramètres d'attitude élaborés par le C.N.E.S.

Pour la méthode classique trois segments de 90 sec, couvrant une surface de 700×60 km environ, avec des inclinaisons latérales de $-24, 0$ et $+24$ ont été utilisés. Les coordonnées-image de 25 points de contrôle bien répartis, d'altitudes variant de 0 à 1000 m, ont été calculées à partir des paramètres orbitaux et des paramètres d'attitude «vrais». Les éphémérides donnant les vecteurs S et V de minute en minute ont été établis à partir d'orbites bruitées et les vitesses de rotation au pas de 0,125 sec, servant à calculer les paramètres t, r, l par intégration numérique, ont aussi été bruitées.

Le calcul en un seul bloc des 3 segments, en utilisant 6 points connus, a fait apparaître sur les coordonnées-terrain des points de contrôle des écarts de l'ordre de 2,5 m avec deux itérations.

Pour la deuxième méthode, les essais n'ont porté que sur un arc d'orbite de 9 sec, correspondant à une «scène» de 60×60 km environ, forme sous laquelle les images SPOT seront découpées. Avec 6 points connus, les écarts sur 25 points de contrôle ont été de l'ordre du mètre.

Bien entendu, ces résultats n'ont de signification que dans la mesure où la régularité des variations d'attitude sera bien conforme aux prévisions. Il faut aussi noter que les points de contrôle utilisés étaient situés à l'intérieur du polygone des points connus. En raison de l'impossibilité de calculer la position du satellite et la matrice d'orientation exactes à partir de points connus au sol, il sera sans doute impossible d'obtenir les coordonnées de points situés à l'extérieur de ce polygone.

Bibliographie

H. Guichard. Etude théorique de la précision dans l'exploitation cartographique d'un satellite à défilement. Application à SPOT Bulletin de la S.F.P.T., no 90 (1983-2)

Adresse des Verfassers:

G. de Masson d'Autume
12, rue des Chênes, F-78110 Le Vésinet

Zur Gewichtsbestimmung von Bedingungsgleichungen

T. Schenk

Parallel zur stetigen Weiterentwicklung der elektronischen Datenverarbeitung wurden auch die Messverfahren und die Ausgleichungsmethoden in den letzten zwei Jahrzehnten verfeinert und vervollkommen. Heute stehen ausgefeilte Verfahren zur Verfügung, die es gestatten, alle zu einer Messanordnung gehörende Information nicht nur rigoros auszugleichen, sondern auch statistisch zu analysieren, so dass bezüglich der berechneten Resultate, deren Genauigkeit und Zuverlässigkeit weit mehr Angaben zur Verfügung stehen, als dies früher, ohne leistungsfähige Rechner und Algorithmen, der Fall sein konnte.

Unter den frühen Pionieren, die für das neue Werkzeug «Computer» effiziente Methoden und Algorithmen entwickelten, ist vor allem H. Schmid zu nennen, der bereits vor einem Vierteljahrhundert die grundsätzliche Richtung wies (vgl. z. B. [2]).

Auf der Eingabeseite einer Ausgleichungsaufgabe finden wir normalerweise nicht nur die der «inneren» Lösung dienenden Messungen, sondern zusätzlich Stützinformation, welche die Zuordnung zu einem übergeordneten Bezugssystem schafft. Diese Information muss sich nicht notwendigerweise nur auf bekannte Punkte (Passpunkte) beschränken, sondern kann durchaus auch andere Angaben, die sich auf das Bezugssystem beziehen, miteinschließen, wie z. B. Drehwinkel, Höhendifferenzen oder Strecken.

Es hat sich eingebürgert, die Stützinformation, seien es nun bekannte Punkte oder zusätzliche Angaben, in Form von Bedingungsgleichungen zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach der Gewichtung der Bedingungsgleichungen oder allgemein nach der Varianz-Kovarianz-Matrix, die den Bedingungen zuzuordnen ist.

Auch der zunehmende Einsatz von interaktiv grafischen Systemen zur computerunterstützten Aufbereitung von Manuskripten zu Reinzeichnungen kann zu allgemeinen Ausgleichungsaufgaben führen, bei welchen die verschiedenen Normvorschriften oder Konventionen zweckmäßigerweise als zusätzliche Bedingungen behandelt werden. So lassen sich z. B. die Forderungen, Gebäude rechtwinklig, Strassen und Wege parallel darzustellen, als geometrische Bedingungen der unbekannten Punkte formulieren, wobei es auch hier die Frage nach der Gewichtung solcher Bedingungen zu beantworten gilt. In [1] wurde dieses Problem im Zusammenhang mit Rechtwinkeln eingehend untersucht.

Der eben geschilderten Problematik wird man dadurch gerecht, dass das mathematische Modell zwei verschiedene Messanordnungen berücksichtigt: