

AJUSTEMENT DE BLOC D'IMAGES : EXEMPLES AVEC SPOT, Landsat-7 et IKONOS[©]

Thierry Toutin, Yves Carbonneau* & René Chénier

Ressources naturelles Canada, Centre canadien de télédétection

(613) 947-1293, 947-1322 & 947-1259

thierry.toutin@cct.rncan.gc.ca

carbo@tgis.ca & rene.chenier@cct.rncan.gc.ca

Résumé

Cette recherche démontre le potentiel de la compensation de bloc d'images de moyenne et haute résolution. La méthode utilise l'outil mathématique de correction géométrique pour les images de source multiple développé au Centre canadien de télédétection. Les résultats avec 17 images de SPOT, 15 images ETM⁺ de Landsat-7 et 4 images d'IKONOS démontrent que la même précision peut être obtenue avec le même nombre de points d'appui (PA) sur des grands blocs d'images que sur une seule image. Ce nombre de PA, répartis afin d'éviter les extrapolations planimétriques et altimétriques, dépend de la précision des données cartographiques de façon à réduire la propagation de l'erreur des PA dans la compensation par moindres carrés. Des points de liaison altimétriques sont utilisés dans tous les recouvrements nord-sud et est-ouest quand les différences d'angle de visée d'images adjacentes sont inférieures à 25°. Par contre, si des images adjacentes de SPOT sont choisies avec des angles de visée, dont les différences sont inférieures à 7°, la précision peut être réduite par un facteur de 4 à 6.

Introduction

Comme en photogrammétrie où l'on crée des bandes et des blocs de photographies aériennes, il apparaît naturel de créer avec les images de télédétection des segments à partir d'une même orbite et des blocs d'images. Le traitement géométrique se réalise alors par un processus de compensation par blocs d'images au lieu d'image par image. Ce processus de compensation géométrique par blocs d'images a été développé et testé ces dernières années avec des images de SPOT (Toutin, 1985 ; Veillet, 1991) ou de Landsat-5 dans des contextes de recherche par des organismes gouvernementaux. Peu ou pas de résultats ont été obtenus dans un cadre opérationnel. Il apparaît donc intéressant d'adapter ces outils aux nouvelles images de Landsat-7 et de haute résolution, de développer des stratégies pour rendre le processus plus convivial et robuste, et de les transférer dans un système opérationnel.

Il y a plusieurs avantages à l'ajustement d'un bloc :

- Réduire le nombre de points d'appui nécessaires au calcul des différents modèles mathématiques ;
- Avoir une meilleure précision relative en ayant un bloc cohérent d'images et/ou de segments ;
- Obtenir des mosaïques de meilleure qualité ;

- Corriger un bloc d'images et/ou segments provenant de différents capteurs ayant de faibles rapport base-sur-hauteur (B/H) ; et
- Densifier le réseau avec de nouveaux points d'appui (PA) à partir des points de liaison (PL).

Avec le procédé de spatio-triangulation, il faut le même nombre de PA pour corriger une seule image, un segment ou un bloc d'images : quatre PA pour SPOT et six PA pour Landsat-7 et IKONOS sont nécessaires. Mais dans des conditions opérationnelles, il est recommandé d'en utiliser le double si les PA sont précis, mais plus dans les cas contraires (ce qui est la majorité des cas) afin de réduire la propagation de leurs erreurs dans la compensation par moindres carrés (MC).

Cet article va présenter la méthode pour créer et traiter des segments et des blocs d'images à partir de SPOT, Landsat-7 ETM⁺ et IKONOS. Des résultats comparatifs entre les traitements d'une image, de segment(s) ou d'un bloc seront ensuite montrés pour valider la stabilité et robustesse du système ainsi que la précision obtenue pour chaque capteur. L'outil mathématique de correction géométrique utilisé est celui qui a été développée au Centre canadien de télédétection (CCT) pour les images de source multiples (Toutin, 1995), et qui a été récemment adapté pour les images d'IKONOS (Toutin and Cheng, 2000). Différentes stratégies sont aussi présentées pour l'utilisation du système dans un cadre opérationnel.

♥ 23^{ième} Symposium canadien sur la télédétection, 21-24 août 2001, Ste-Foy, Québec, Canada, pp. 35-39

* Sous contrat avec Consultants TGIS inc., 7667 curé Clermont, Anjou, Québec, H1K 1X2

Création de segments et bloc d'images

Comme les données de télédétection sont acquises de façon continue et découpées «artificiellement» en images, il est alors possible de «re-coller» les images d'une même orbite et de même date d'acquisition pour créer des segments continus dans la direction nord-sud. Même si ce principe physique de segment est le même quel que soit le type d'images, sa méthode de création est différente car les images disponibles aux utilisateurs ont été traitées différemment :

- les images de SPOT (niveau 1) sont de type brut orientées dans le sens de l'orbite sans aucune correction géométrique ;
- les images de Landsat-7 (niveau 1G) de type géo-référencé orientées dans le sens de l'orbite avec la correction géométrique des distorsions systématiques ; et
- les images d'IKONOS (niveau Geo) de type géo-référencé orientées dans le sens de la projection cartographique UTM avec la correction géométrique des distorsions systématiques incluant celles de la projection cartographique (Space Imaging, 2000).

Théoriquement, il n'y a pas de limite aux nombres d'images à «re-coller», mais pratiquement il y en a à cause de ces différents pré-traitements, mais aussi de la couverture nuageuse. Si des images d'un même segment doivent être acquises à partir de dates différentes à cause de la couverture nuageuse, elles ne peuvent pas être «re-collées» car, elles ne sont pas acquises de la même orbite physique. Une autre méthode doit être appliquée pour créer un lien entre les images dans la direction nord-sud. Par conséquent, la stratégie de création de segments est différente pour chaque type d'image.

Finalement, les blocs sont alors constitués de données adjacentes dans la direction est-ouest avec un recouvrement entre les images et/ou segments «re-collées» acquis d'orbites. Le lien entre les images et segments dans les directions nord-sud et est-ouest s'effectue avec des PL communs dans les recouvrements entre images/segments. Comme les angles de visée sont variables pour SPOT (visée perpendiculaire de $\pm 30^\circ$), constant pour Landsat-7 (visée nadir) et «non-controlées» pour IKONOS (visée de 30° sur 360°), les différences d'angles de visée entre les images et/ou segments est-ouest peuvent être très variables.

Si la différence d'angle de visée, ou le rapport B/H est faible (différence d'angles $< 25^\circ$ ou $B/H < 0,5$), on est

obligé d'utiliser des PL avec une altitude connue pour rigidifier la géométrie d'intersection entre les deux images et la Terre. Dans les cadres opérationnels, des PL altimétriques sont plutôt recommandés quelles que soient les différences d'angles de visée entre les images adjacentes pour éviter des erreurs, pour obtenir une plus grande stabilité, et un niveau de confiance plus élevé dans les résultats. Par conséquent, la stratégie de création de bloc est différente pour chaque type d'image.

Cas de SPOT

Comme les images de SPOT sont brutes sans aucun traitement géométrique, les lignes d'images dans les recouvrements se superposent exactement. Il y a alors trois possibilités pour «re-coller», les images d'un même segment de même date d'acquisition (Sakaino *et al.*, 2000) :

1. Utiliser une technique de corrélation (visuelle ou automatique) entre les lignes du recouvrement ;
2. Utiliser les données de temps et/ou d'altitude pour les faire correspondre dans les recouvrements ; et
3. Utiliser les méta-données, qui donnent la relation entre les lignes d'image et le segment original.

La première méthode est soit lourde, ou peu robuste et fiable d'utilisation dans un contexte opérationnel. La deuxième méthode est recommandée pour les produits SPOT distribués dans le format canadien ou l'ancien format de SPOT-Image. La dernière méthode est recommandée pour les produits SPOT distribué dans le nouveau format CAP de SPOT-Image.

Les segments à partir d'images acquises de dates différentes et le bloc sont ensuite créés avec des PL. Comme les images/segments de SPOT peuvent être acquis à partir d'angles de prise de vue très variables, générant ainsi des différences d'angles de visée et des B/H très variables (de 0,1 à 1,0), il est recommandé, pour garantir une certaine stabilité et cohérence dans le bloc, de toujours utiliser des PL altimétriques.

Cas de Landsat-7

Comme les images de Landsat-7 sont géo-référencées et projetées le long de la trace de l'orbite au centre de l'image, les lignes d'images dans les recouvrements ne se superposent plus. De plus, il existe une différence d'angles d'orientation par rapport au nord. On ne peut alors appliquer que la première méthode décrite pour SPOT dans la création des segments. A partir de points communs dans les recouvrements, on peut alors calculer la translation et la rotation qu'il faut effectuer à une des images pour la «re-coller» à l'autre. Dans ce

cas, on ne pourra pas «re-coller» plus de 5 images ensemble, ce qui correspond quand même à un segment de 900 km.

Les segments à partir d'images acquises de dates différentes et le bloc sont ensuite créés avec des PL, comme pour SPOT. Comme les images/segments de Landsat-7 sont acquis à partir de prise de vue nadir, les différences d'angles de visée sont très faibles avec des B/H de 0,001 et de 0,15 dans les recouvrements nord-sud et est-ouest, respectivement. On est alors obligé d'utiliser des PL altimétriques pour garantir une convergence et une stabilité dans le calcul du bloc.

Cas d'IKONOS

Les images d'IKONOS format Geo sont déjà vendues par Space Imaging en segment acquis le long de la même orbite avec une couverture nuageuse de 10 à 20% selon les conditions du contrat de vente (Space Imaging, 2000). Il ne reste donc qu'à «re-coller» les segments dans la direction est-ouest. Pour des raisons opérationnelles, les segments sont généralement acquis à partir de la même orbite avec des angles de prise de vue variables. Si cela présente des avantages pour la création de la mosaïque au niveau des faibles variations radiométriques, cela est désavantageux au niveau des géométries : les B/H peuvent être de l'ordre de 0,1. Comme pour Landsat, des PL altimétriques sont alors nécessaires pour la convergence et la stabilité dans le calcul du bloc.

Jeux de données

Dans le cas de SPOT, 17 images de niveau 1 ont été acquises sur la vallée de l'Outaouais par le Ministère des Ressources Naturelles du Québec. Onze sont en mode panchromatique (pixel de 10 m) et six en mode multi-bande (pixel de 20 m) avec des angles de prise de vue de 0° à 25°, générant des B/H de 0,05 à 0,37. Elles se répartissent sur six segments de deux à quatre images. Toutes les images d'un même segment ont été acquises de la même orbite et de la même date. La variation d'altitude sur le site est de 700 m. Les données cartographiques sont 110 cartes topographiques au 1 : 20 000 avec une précision de 10 m. Une vingtaine de PA/PL ont été acquis par image en évitant les extrapolations.

Dans le cas de Landsat-7, 15 images ETM⁺ (pixel de 15 m) ont été acquises sur les Montagnes Rocheuses, Colombie-Britannique. Elles se répartissent sur cinq segments de trois images. Certains segments ont trois ou deux images de la même date ; ce qui permettra de tester toutes les possibilités dans la création de segments et de bloc. La variation d'altitude sur le site

est de 2 500 m. Les données cartographiques sont 350 cartes topographiques au 1 : 50 000 avec une précision de 25 à 50 m. Une cinquantaine de PA/PL ont été acquis par image en évitant les extrapolations.

Dans le cas d'IKONOS, quatre images ou segments Geo (60 km par 10 km ; pixel de 1 m) ont été acquises sur les Montagnes Avila de la Côte Centrale du Venezuela (10.5° S, 67° O) (Arismendi *et al.*, 2000). Les angles de prise de vue sont de 10° à 25° dans tous les azimuts, générant des B/H de 0,15 à 0,30. La variation d'altitude sur le site est de 2 200 m. Les données cartographiques sont neuf ortho-photos numériques avec un pixel de 2,5 m et une précision de 5 m. Une trentaine de PA/PL ont été acquis par image en évitant les extrapolations.

Résultats

Cas de SPOT

Les premiers résultats sont donnés avec le calcul de compensation par MC de différentes configurations d'images : une image seule, des segments de deux à quatre images et du bloc en entier. Le Tableau 1 donne les résiduelles moyennes quadratiques (RMQ) et les résiduelles minimum/maximum en mètres pour ces différentes configurations. Les résultats pour chaque test image(s) et segment correspondent à une moyenne des résultats pour chacune des possibilités (e.g., le résultat pour une image seule est la moyenne des résultats pour chacune des 17 images). Dans le bloc, tout PA appartenant à plus d'un segment est utilisé comme PL.

Tableau 1 : Résiduelles moyennes quadratiques (RMQ) et minimum/maximum (en mètres) sur les PA

Test de compensation	PA	RMQ		Min/Max	
		X	Y	X	Y
Image seule	20	4,7	4,5	-10/11	-9/10
Segment 2imag.	40	4,8	5,3	-9/12	-12/10
Segment 3imag.	60	8,5	9,0	-29/21	-27/23
Segment 4imag.	80	3,0	4,0	-7/5	-11/10
Bloc 6segments	350	7,6	7,1	-29/21	-20/23

Ces résultats montrent la stabilité du modèle de compensation pour les segments de deux à quatre images et le puisque les résultats sont similaires à ceux d'une image. On doit noter que dans les segments de trois images et le bloc interviennent les six images en mode multi-bande (pixel de 20 m) ; ce qui contribue à augmenter les erreurs. La redondance des PA contribue aussi à diminuer la propagation de leur erreur (10 m).

Des tests en fonction du nombre de PA utilisé par image ou segment a permis de vérifier qu'en fonction

de la précision des PA (10 m), 12 PA était un bon compromis pour éviter la propagation des erreurs des PA et pour conserver une précision de 10 m, calculée sur des PV. Ce résultat est alors appliqué au bloc avec 12 PA sur les segments extérieurs et une dizaine de PL altimétriques dans chaque recouvrement de segments :

- 1) pour les six segments ($0,05 < B/H < 0,37$) ; et
- 2) pour les trois segments avec les plus grands B/H ($0,18 < B/H < 0,37$) .

On obtient pour les six segments des erreurs de l'ordre de 60 m et 10 m dans les axes X et Y respectivement, avec des erreurs minimum/maximum de 200 m, calculées sur environ 200 PV. Pour les trois segments, on obtient des erreurs de 12 m et 7 m dans les axes X et Y respectivement, avec des erreurs minimum/maximum de 15 m, calculées sur environ 100 PV. Cela démontre que la propagation de l'erreur est plus grande dans la direction X (celle de la parallaxe d'altitude), et principalement quand on a des B/H très petits (cas des six segments avec deux B/H de 0,005, 0,06). Des B/H inférieurs à 0,1, correspondant à des différences d'angle de visée de 7°, ne peuvent pas donner de bons résultats et ne devraient en aucun cas être utilisés dans une compensation par bloc avec des PL. Si cela arrivait dans un cas opérationnel, il faudrait alors prendre des PA sur chacune des images générant des B/H inférieurs à 0,1.

Cas de Landsat-7

Les premiers résultats sont donnés avec le calcul de compensation par MC de différentes configurations d'images : une image seule, deux ou trois images ensemble, des segments de deux ou trois images et du bloc en entier. Le Tableau 2 donne les RMQ et les résiduelles minimum/maximum en mètres pour ces différentes configurations. Comme pour SPOT, les résultats pour chaque test image(s) et segment correspondent à une moyenne des résultats pour chacune des possibilités (e.g., le résultat pour une image seule est la moyenne des résultats pour chacune des 15 images). Dans le bloc, tout PA appartenant à plus d'une image est utilisé comme PL.

Tableau 2 : Résiduelles moyennes quadratiques (RMQ) et minimum/maximum (en mètres) sur les PA

Test de compensation	PA	RMQ		Min/Max	
		X	Y	X	Y
1 image	50	20,8	18,9	-59/49	-45/47
2 images N/S	100	21,5	19,8	-41/52	-41/43
3 images N/S	150	20,0	19,2	-43/48	-49/44
Segment 2im.	100	23,2	22,5	-35/45	-49/37
Segment 3im	150	23,0	20,6	-41/48	-41/44
Bloc 15 im.	750	22,6	21,2	-59/52	-49/47

Cet ensemble de résultats est très cohérent car les RMQ sont équivalents quel que soit le nombre d'images, le type de segment et le bloc. Comme elles correspondent à l'erreur des données cartographiques (25 m), la compensation par MC a réduit la propagation de cette erreur dans le calcul.

Des tests en fonction du nombre de PA utilisé par image ou segment a permis de vérifier qu'en fonction de la précision des PA (25 m), 25-30 PA était un bon compromis pour éviter la propagation des erreurs des PA et pour conserver une précision de 25 m calculée sur des PV. Ce résultat est alors appliqué au bloc avec une dizaine de PL altimétriques dans chaque recouvrement d'images ou de segments et :

1. en prenant 25 PA toutes les deux images ; ou
2. en prenant 25 PA sur les deux segments extérieurs.

On obtient alors pour ces deux tests des erreurs de l'ordre de 25 m dans les deux axes avec des erreurs minimum/maximum de 65 m, calculées sur environ 500 PV, démontrant la stabilité du système de compensation par bloc pour Landsat-7. Finalement, ce dernier test a été réalisé avec les images au lieu des segments et les erreurs sont de l'ordre de 50 m. Comme les liaisons entre les images dans la direction nord-sud ont des B/H de l'ordre de 0,005, qui sont largement inférieur à 0,1, on se retrouve alors dans le même cas de propagation d'erreur et d'instabilité que pour le cas de SPOT précédemment discuté avec les six segments.

Cas d'IKONOS

Les premiers résultats sont donnés avec le calcul de compensation par MC des segments et des blocs (2 blocs de 3 images et un bloc de 4 images) en utilisant tous les PA. Le Tableau 3 donne les RMQ et les résiduelles minimum/maximum en mètres pour ces différentes configurations. Tous les PA dans les recouvrements sont aussi considérés comme des PL.

Tableau 3 : Résiduelles moyennes quadratiques (RMQ) et minimum/maximum (en mètres) sur les PA

Test de compensation	PA	RMQ		Min/Max	
		X	Y	X	Y
Segment 1	27	2,7	3,4	-6/4	-6/7
Segment 2	35	5,3	5,3	-11/12	-9/14
Segment 3	38	5,1	2,2	-13/8	-4/4
Segment 4	24	2,8	4,1	-5/5	-9/7
Segments 1 à 3	100	5,1	5,0	-13/13	-11/14
Segments 2 à 4	97	4,6	4,1	-13/10	-11/14
Bloc 4segment	124	4,8	4,9	-13/13	-11/14

On s'aperçoit dans le Tableau 3 que :

- 1) Les RMQ (2,2 m à 5,1 m) sont meilleures que l'erreur des ortho-photos (5 m) ;

- 2) Les résiduelles minimum/maximum (4 m à 14 m) sont généralement deux à trois les RMQ ; et
- 3) Les plus grandes résiduelles dans les tests Image 2 et Image 3 se retrouvent généralement dans les résiduelles des tests de bloc avec 3-4 images (exemples -13 m et 14 m en **gras** dans le Tableau 3).

Le nombre plus élevé de PA que le minimum requis a permis de réduire l'impact de l'erreur des ortho-photos dans la compensation par MC (point 1). Le point 2) démontre que le modèle est stable et ne crée pas d'erreur locale, même pour un bloc de quatre images. Le point 3) démontre que la résiduelle reflète la précision de pointé de chaque point et par conséquent que l'erreur sur les PA ne se propage pas dans le modèle mais, dans les résiduelles.

Un autre test a été réalisé en faisant varier le nombre de PA pour un segment et en vérifiant sur des PV ; il est apparu qu'en fonction de la précision des PA (5 m), 12 PA est un bon compromis pour conserver une précision de 5-7 m et pour éviter la propagation des erreurs des PA. Ce dernier résultat est alors appliqué au bloc : 12 PA sur les images extérieures et 25 PL altimétriques dans les recouvrements d'images. En vérifiant sur 104 PV, on a obtenu une précision de 7 m et 5 m en X et Y respectivement, avec des erreurs minimum/maximum de l'ordre de 15 m, démontrant ainsi la stabilité du système de compensation par bloc d'images pour IKONOS.

Conclusions

Ces résultats pour les trois types d'image dans le visible, SPOT, Landsat-7, IKONOS démontrent le potentiel de la méthode de compensation par blocs avec le modèle de correction géométrique du CCT. Il permet d'obtenir les mêmes résultats avec le même nombre de PA sur un bloc d'images que sur une image seule, si des PL altimétriques sont utilisés dans les recouvrements avec des faibles différences d'angles de visée ($B/H < 0,5$). Cohérence et stabilité sont donc obtenus dans la compensation, quel que soit le type, le nombre d'image(s) ou de segment(s) et avec un nombre restreint de PA/PL, pour autant qu'il n'y ait pas d'extrapolation en planimétrie mais aussi en altimétrie. Par contre, le B/H entre des images ou des segments adjacents doit être au minimum de 0,1, ce qui correspond à une différence d'angles de visée de 7° , comme pour deux orbites adjacentes de Landsat-7. Ceci permet d'assurer une stabilité dans le bloc. Si par contre dans un cadre opérationnel des images était déjà acquises avec des mauvais B/H (comme cela est arrivé pour nos images de SPOT), on devrait nécessairement, pour le calcul de la compensation du bloc, utiliser des

PA sur chacune des images générant un B/H inférieur à 0,1.

Remerciements

Les auteurs remercient le Ministère des Ressources naturelles du Québec pour les images de SPOT sur la Vallée de l'Outaouais, et Lic. Ramiro Salcedo de l'Instituto de Ingenieria, Venezuela pour les données images et terrain sur le Venezuela. Ils remercient aussi M. Alexander Berger et Mlle Alexandra Koch de la Technische Universität Dresden pour le traitement des images de Landsat-7.

Références

Arismendi, J., R. Salcedo, y D. Varela, 2000, "Geomorfología Actual y Cobertura Natural de la Vertiente Norte de la Cordillera de la Costa Afectada por el Evento Hidrometeorológico de Diciembre 99, A Partir de la Interpretación de Imágenes de Satélite", Proceedings of IX International Symposium of the Latin American Society of Remote Sensing (SELPER), 6-10 Novembre 2000, Puerto Iguazu, Misiones, Argentina, (Buenos Aires, Argentina : SELPER), pp. 505-516.

Sakaino S., Suzuki H., Cheng P., and Toutin Th., 2000. "Updating maps of Kazakhstan using stitched SPOT images", Earth Observation Magazine, Vol. 9, No 3, pp. 11-13.

Space Imaging Web Site, 2001 www.spaceimaging.com/.

Toutin, Th., 1985, «Analyse mathématique des capacités stéréoscopiques du système SPOT», Thèse de Docteur-ingénieur, Ecole Nationale des Sciences Géodésiques, Paris, France, 163 pages.

Toutin, Th., 1995, "Multisource data fusion with an integrated and unified geometric model", EARSel Journal Advances in Remote Sensing, Vol. 4, 118-129, www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/ref/bibpdf/1223.pdf.

Toutin, Th. and Cheng Ph., 2000, "Demystification of IKONOS", Earth Observation Magazine, Vol. 9, No. 7, pp. 17-21, July. www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/ref/bibpdf/4807.pdf.

Veillet, I., 1991, «Triangulation spatiale de blocs d'images SPOT », Thèse de Doctorat, Observatoire de Paris, Paris, France, 101 pages.