

Contrôle de qualité des bases de données g

Dans les Bases de Données Géographiques, les modèles numériques n'ont pas la même erreur quadratique moyenne en planimétrie qu'en altimétrie. Différentes solutions ont été envisagées pour déterminer séparément l'erreur en altimétrie et l'erreur planimétrique, disposant, bien entendu, d'un modèle numérique plus précis comme référence. En particulier, des simulations ont été réalisées à partir de solutions dérivées d'études d'erreur en planimétrie, "par contrôle linéaire", utilisant la distance de Hausdorff. Malheureusement elles n'ont pas donné de résultats satisfaisants. On a donc envisagé une nouvelle démarche qui consiste à déterminer les paramètres des ellipsoïdes d'erreur, centrées dans la surface de référence. Dans un premier temps, l'étude a été limitée aux profils de référence avec l'ellipse d'erreur correspondante. Les paramètres de cette ellipse sont déterminés à partir des distances qui séparent les tangentes à l'ellipse du centre de cette même ellipse. Remarquons que cette distance est la moyenne quadratique des distances qui séparent le profil de référence des points du modèle numérique à évaluer, c'est à dire la racine de la variance marginale dans la direction de la tangente. Nous généralisons à l'ellipsoïde de révolution. C'est le cas où l'erreur planimétrique est la même dans toutes les directions du plan horizontal (ce n'est pas le cas des MNT obtenus, par exemple, par interférométrie radar). Dans ce cas nous montrons que le problème de simulation se réduit à l'ellipse génératrice et la pente du profil correspondant à la droite de pente maximale du plan appartenant à la surface de référence (polyèdre de faces triangulaires dont les vertex sont les points du MNT de référence). Finalement, pour évaluer les trois paramètres d'un ellipsoïde, cas où les erreurs dans les directions des trois axes sont différentes, la quantité des points nécessaires pour la simulation doit être importante et la surface très accidentée. Le cas échéant, il est difficile d'estimer les erreurs en x et en y. Néanmoins, nous avons remarqué, qu'il s'agisse de l'ellipsoïde de révolution ou non, que dans tous les cas, l'estimation de l'erreur en z (altimétrie) donne des résultats tout à fait satisfaisants.

■ MOTS CLES

Qualité des modèles numériques
contrôle de qualité en 3D
MNT
estimateur de moindres carrés.

Introduction

Les diverses techniques utilisées pour générer des modèles numériques de terrain produisent normalement des erreurs différentes en altimétrie et en planimétrie. En photogrammétrie aérienne, télédétection (SPOT), Interférométrie Radar, etc. des études ont été faites pour estimer ces erreurs a priori, mais il n'existe pas à la connaissance des auteurs, de méthode efficace pour contrôler la qualité, a posteriori, des modèles numériques obtenus au moyen de ces techniques.

Le contrôle des cartes par rapport à une certaine référence, c'est à dire, contrôle a posteriori de la qualité géométrique de cartes, est un problème qui depuis quelques années a retenu l'attention des chercheurs. Plusieurs méthodes ont été proposées : le contrôle ponctuel, le contrôle linéaire et d'autres méthodes. En effet, auparavant, le contrôle par rapport à une

référence se résolvait au moyen du contrôle ponctuel, mais il a été montré [ABA94b - GRU94 - HOT96 - etc.], après plusieurs expériences, qu'il s'avère inadapté car il soulève des problèmes insurmontables. Entre autres : le choix des points homologues entre la carte (modèle à évaluer) et la référence, l'existence de points aberrants, le systématisme, et la non - vérification des lois statistiques classiques sur les erreurs accidentelles.

À partir de là, la littérature propose quelques méthodes de qualité peu convaincante [ABA/94b] : critère de surface, "Spurious polygons", la méthode de la bande ϵ , etc. ; pour finalement tomber sur la méthode linéaire qui s'applique à la planimétrie. Elle se base sur l'exploitation de la distance de Hausdorff entre le contour carte (modèle) et le contour référence [HOT/96b]. Nous rappelons que la distance de Hausdorff entre deux objets définis comme un ensemble de points est la plus grande des plus petites distances de chaque

modèles numériques éographiques

point d'un ensemble aux points de l'autre ensemble. La distance Hausdorff n'est, donc, pas nécessairement symétrique.

Il a été prouvé [GRU/94 - HOT/96b] que la méthode de contrôle linéaire est une méthode de contrôle de qualité tout à fait efficace en planimétrie. Cependant la méthode de contrôle linéaire, qui semble très utile pour déterminer la précision géométrique des cartes à petite échelle, n'a pas été appliquée à l'altimétrie.

■ Extension à l'altimétrie

Pour l'extension à l'altimétrie deux cas peuvent être considérés :

- cas des lignes homologues,
- cas des modèles numériques de terrain.

Dans ce travail nous nous intéressons aux modèles numériques de terrain, et bien que nous ayons pu déterminer des lignes homologues à partir de MNT (lignes de crête, lignes de talweg, etc.) nous avons analysé le problème en nous limitant aux points. Il faut noter que pour des profils, les deux cas peuvent être considérés : le cas des lignes homologues et le cas de MNT. En effet, d'une part nous pouvons considérer les deux profils comme lignes correspondantes, d'autre part nous pouvons considérer le cas hypothétique, et plutôt théorique (par ex. modèle numérique de l'axe d'une route), dans lequel le modèle numérique de terrain se réduit à un profil aussi bien pour le modèle à évaluer que pour la référence.

Dans le cas du contrôle linéaire en planimétrie, la distance de Hausdorff donne une valeur proportionnelle à l'erreur planimétrique. Pour le premier cas où nous considérons les deux profils comme lignes homologues, il en est de même ; mais, d'après nos simulations les composants du vecteur distance ne correspondent pas aux erreurs, en altimétrie et en planimétrie, des profils après bruitage.

Le problème de l'évaluation de la qualité d'un modèle numérique par rapport à une référence reste donc ouvert. Nous allons développer une démarche pour évaluer la qualité géométrique des modèles numériques. Nous présentons, dans un premier temps, la démarche géométrique qui débouche sur la solution, puis les principes statistiques sur lesquels se fonde l'estimateur proposé. Nous décrivons ensuite les méthodes de simulation en tenant compte de certains effets de bord. Nous terminons par la présentation des tableaux des simulations avec l'analyse des résultats.

Qualité géométrique des modèles numériques : erreur en altimétrie et en planimétrie.

■ Présentation de la solution proposée

Si l'erreur en planimétrie et en altimétrie d'un modèle numérique d'une surface est supposée connue, il est possible de construire un ellipsoïde d'erreur centré sur chaque point de la surface. Comme nous le verrons, la surface enveloppante de l'ensemble de ces ellipsoïdes correspond à la moyenne quadratique des distances des points du modèle numérique à la surface de référence dans les différentes directions.

Bien que cette affirmation nous semble évidente et corresponde à la notion de variance marginale, nous présentons d'abord une approche géométrique (avec la démonstration correspondante). Par la suite, nous présenterons les fondements statistiques et finalement nous allons prouver par différentes simulations la bonne qualité de l'estimateur que nous avons trouvé.

■ Approche géométrique

Pour simplifier, nous réduirons dans un premier temps le problème à 2 dimensions et nous ferons notre étude sur des profils. Plus tard nous ferons la généralisation aux modèles numériques de surfaces. Pour ces réflexions, nous supposons qu'il existe un profil de points de référence ou nominal, et un modèle numérique de ce même profil.

Nous établissons que les points mesurés de ce profil, ont une erreur moyenne quadratique (emq) σ_p (en planimétrie) différent de l'emq σ_z (en altimétrie) et que ces erreurs suivent une loi de distribution normale. Les paramètres a et b de l'ellipse, seront pris égaux aux emq en planimétrie et en altimétrie respectivement.

Pour les surfaces, les centres des ellipsoïdes d'erreur se trouvent sur les points de la surface de référence ; pour les profils, les centres des ellipses d'erreur se trouvent sur les points du profil. Dans le cas où le profil est horizontal il est évident que la courbe enveloppante est une droite horizontale. Si d_i sont les distances de chaque point du modèle à évaluer au profil de référence, la racine de la moyenne quadratique de ces distances d_i est égal à σ_z (erreur en altimétrie). Cette valeur est donc égale au paramètre b de l'ellipse. Il serait de même dans le cas hypothétique (et jamais réel) d'un profil vertical pour obtenir σ_p (erreur en planimétrie). Et σ_p sera égal au paramètre a de l'ellipse. ■■■

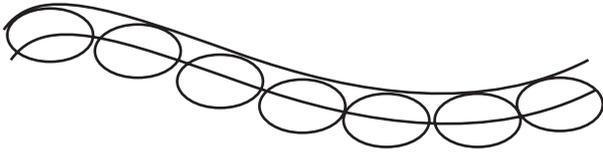


Figure 1 : Courbe enveloppante des ellipses

■■■ Comme nous l'avons dit, si pour chaque point du profil nous considérons qu'il existe une ellipse, il est possible d'obtenir leur enveloppante.

Si nous supposons maintenant que le profil de référence est une droite de direction α , nous pouvons obtenir, de la même façon, σ dans une direction normale à la direction α . Il suffit de prendre les moyennes quadratiques des distances d_i des points de profil à la droite de pente $\tan \alpha$ (qui est le profil de référence). σ est donc la distance qui sépare deux droites parallèles : la tangente à l'ellipse et la droite qui passe par le centre de cette même ellipse. Les formules que nous allons développer permettent de calculer les paramètres a et b de l'ellipse cherchée à partir de ces distances mesurées dans différentes directions α_i des droites tangentes.

Nous rappelons que les paramètres a et b de l'ellipse sont égaux aux erreurs moyennes quadratiques σ_p et σ_z cherchées. Nous avons :

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1 \text{ et l'équation de la droite est } y = mx + h$$

alors, pour calculer l'intersection de la droite avec l'ellipse : $y^2 = m^2 x^2 + h^2 + 2mxh$

$$\text{donc, } \frac{X^2}{a^2} + \frac{m^2 x^2 + h^2 + 2mxh}{b^2} = 1$$

et avec : $A = a^2$ et $B = b^2$

$$Bx^2 + A m^2 x^2 + Ah^2 + 2 A mxh - AB = 0$$

Si $A^2 m^2 h^2 - (B + A m^2) (Ah^2 - AB) = 0$, (discriminant nul)

la droite est tangente à l'ellipse.

$$\text{De même : } B^2 + Am^2 B - h^2 B = 0$$

$$B = h^2 - A m^2$$

$$\text{Mais, } h^2 = d^2 + k^2$$

où d est la distance du centre de l'ellipse à la droite tangente, tandis que k est le côté qui complète un triangle rectangle avec h et d (figure 2).

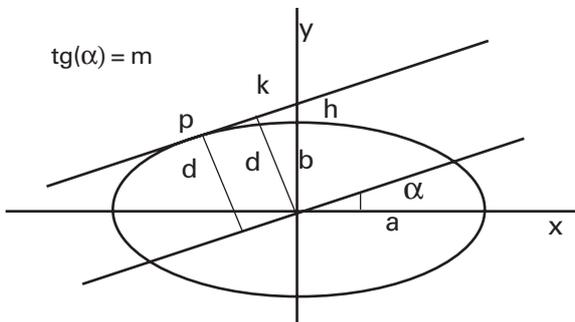


Figure 2 : Éléments de l'ellipse d'erreur

Notons que $\tan \alpha = m = k / d = \sin \alpha / \cos \alpha$

Alors, $h^2 = d^2 (1 + m^2)$

$$\text{Et } B = d^2 (1 + m^2) - Am^2 = d^2 (1 + \sin^2 \alpha / \cos^2 \alpha) - A (\sin^2 \alpha / \cos^2 \alpha)$$

$$d^2 = B \cos^2 \alpha + A \sin^2 \alpha \quad (1)$$

Remarquons que d n'est que σ dans la direction correspondante à l'angle α . Puisque les observables sont les distances d_i , et α est déterminé par chacun des segments du profil de référence, nous sommes en face d'une solution canonique par moindres carrés, car l'observable est fonction de paramètres inconnus. Il n'est pas nécessaire de linéariser, nous nous trouvons face à une solution canonique dont le modèle fonctionnel est une fonction linéaire. Notons qu'il peut arriver qu'il y ait plusieurs équations avec la même valeur α et différentes distances (points du modèle à évaluer), la moyenne quadratique de ces distances est égale à la distance d de la formule ci-dessus. Pour chaque distance d_i nous aurons :

$$d_i^2 = B \cos^2 \alpha + A \sin^2 \alpha \quad (2)$$

Nous pourrions grouper les équations qui ont les mêmes valeurs de direction α (ou des valeurs de direction α très proches), calculer la moyenne quadratique d^2 et donner à la nouvelle équation un poids proportionnel à la quantité i de distances dans chaque direction α donnée, mais il est évident que le résultat de l'estimateur par moindres carrés sera le même.

Il est intéressant de constater, que cette formule permet d'obtenir les paramètres a et b d'une ellipse à partir d'un ensemble des points qui la décrivent de façon approchée. Il suffit de prendre chaque valeur α égal à la direction déterminée par les deux points P_{i-1} et P_{i+1} qui se trouvent de chaque côté du point P_i choisi, et suffisamment proches de lui. Et d sera la distance entre le point P_i et une droite de direction α passant par l'origine. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer cette origine.

■ Les fondements statistiques

Il s'agit de déterminer σ_p^2 (planimétrie) et σ_z^2 (altimétrie) et, dans les cas exceptionnels déterminer σ_x^2 , σ_y^2 , σ_z^2 (par ex. : interférométrie radar).

Rappel : Prenons une matrice diagonale de variance σ^2 d'une variable aléatoire tridimensionnelle :

$$\sigma^2 = \begin{vmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{vmatrix}$$

avec : $\lambda_1 = \sigma_x^2$; $\lambda_2 = \sigma_y^2$; $\lambda_3 = \sigma_z^2$

Dans un nouveau référentiel la matrice de variance - covariance sera $\sigma_{ref}^2 = U \sigma^2 U^T$

U : matrice orthogonale ; ses lignes sont les composantes des nouveaux axes dans les axes anciens.

Dans un nouvel axe x' la valeur de la variance sera donc :

$$\sigma_{x'}^2 = a_{11}^2 \sigma_x^2 + a_{12}^2 \sigma_y^2 + a_{13}^2 \sigma_z^2 \quad (3)$$

où $a_{11}^2, a_{12}^2, a_{13}^2$ sont les carrés des cosinus directeurs du vecteur unitaire dans la direction de $\sigma_{x'}^2$.

Mais, la variance dans une direction quelconque i est $(1/n) \sum e_i^2$ (e : erreur), La racine de la variance dans la direction x' est égale à la distance entre le plan qui passe par le centre de l'el-

lipsoïde de paramètres $a = \sigma_x$, $b = \sigma_y$, $c = \sigma_z$ et un plan parallèle à celui-ci et tangent à l'ellipsoïde (par définition de variance marginale dans une direction donnée).

■ L'estimateur

Puisque l'estimateur est :

$$d_i^2 = \sigma_x^2 \cos^2 \alpha + \sigma_y^2 \cos^2 \beta + \sigma_z^2 \cos^2 \gamma \quad (4)$$

(d_i est défini en (2)) pour α , β et γ donnés, il suffit de grouper les n d_i dans cette même direction pour obtenir leur somme :

$$\Sigma d_i^2 = n \sigma_x^2 \cos^2 \alpha + n \sigma_y^2 \cos^2 \beta + n \sigma_z^2 \cos^2 \gamma = n \sigma_i^2$$

Le plan qui passe par le centre de l'ellipsoïde est celui défini par trois points du modèle numérique de référence puisque le point exact correspondant au modèle numérique à évaluer se trouve sur la surface définie par la référence.

Si les erreurs en planimétrie sont indépendantes de la direction (fait normalement accepté, sauf erreurs systématiques ou, dans de cas particulier), le problème est bidimensionnel. Pour déterminer α (bidimensionnel), nous prenons la direction de la pente maximale sur chaque plan (voir figure 3).

Et l'estimateur est encore (1)

$$d^2 = B \cos^2 \alpha + A \sin^2 \alpha = \sigma_p^2 \sin^2 \alpha + \sigma_z^2 \cos^2 \alpha \quad (5)$$

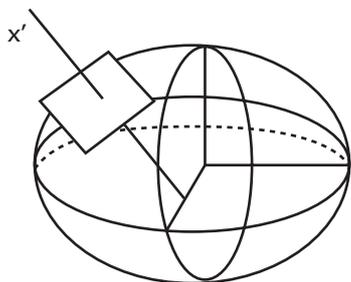


Figure 3 : Ellipsoïde de révolution

En effet, la distance d'un point de modèle à évaluer à la surface de référence est un élément de l'échantillon qui permet de déterminer la variance correspondante à la direction de la droite x' , toujours constante si l'angle déterminé par la droite x' et la droite verticale (coïncidant avec la direction z de l'ellipse génératrice) est le même. De même, si nous prenons : $\sigma_x^2 = \sigma_y^2$

dans la formule générale nous aurons, donc, $\alpha = 90^\circ - \gamma$. La direction α correspondant est, donc, celle de pente maximale du plan de référence.

Simulations

Nous avons fait, d'abord, les simulations sur des profils homologues, car même en 3D, si l'erreur en planimétrie est indépendante de la direction, le problème est bidimensionnel. A partir des profils de référence et par bruitage nous avons généré les points du modèle à évaluer. Pour ce faire nous avons utilisé la méthode de Box et Müller qui permet de générer des variables aléatoires normales $N(0,1)$ [HOT/96c].

U et V étant deux variables uniformes sur $[0,1]$ les variables X et Y sont normales $N(0,1)$:

$$X = (-2 \ln U)^{1/2} \cos 2\pi V$$

$$Y = (-2 \ln U)^{1/2} \sin 2\pi V$$

Pour évaluer la bonne qualité de notre méthode nous avons développé une application qui permet de mesurer les distances des points bruités au segment référence. La direction α a une distribution uniforme entre des valeurs préétablies, ce qui permet de simuler des profils plus ou moins accidentés. Ensuite, avec la distance de chacun de ces points au profil de référence et la direction α , nous obtenons un système surabondant d'équations. Puis nous avons appliqué la méthode des moindres carrés pour obtenir les paramètres a et b de l'ellipse ou de l'ellipsoïde - de révolution - d'erreur.

De façon analogue nous avons fait la simulation en 3D, mais la quantité des points nécessaires pour la simulation doit être importante et la surface très accidentée. Le cas échéant, il est difficile d'estimer séparément les erreurs en x et en y . Finalement nous comparons les valeurs obtenues par cette méthode - σ_p^2 et σ_z^2 - avec les valeurs introduites pour réaliser le bruitage, ou plutôt, avec les valeurs obtenues directement de l'échantillon des points bruités. En effet l'application permet, entre autre, le calcul de la moyenne des erreurs en planimétrie et en altimétrie de l'échantillon des points aléatoirement générés. Ces derniers sont, légèrement différents des valeurs introduites par le bruitage, même pour des échantillons de plus de 1 000 points (5000, 10 000). Dans tous les cas, les valeurs en altimétrie sont extrêmement proches des valeurs de l'échantillon. La bonne qualité de l'estimateur en planimétrie (ou en x et y dans les cas 3D), dépend de coefficients - α ou autres - adoptés pour simuler un terrain plus ou moins accidenté.

Il y a certains problèmes de bord qui peuvent être évités. Il suffit d'enlever les points qui se trouvent à proximité, soit de l'extrémité du segment dans le cas de profils, soit près du bord des triangles dans les cas où l'erreur planimétrique est anisotrope. La notion de proximité est liée à l'erreur espérée en planimétrie ou à l'erreur obtenue sans tenir compte des problèmes de bord. La distance limite acceptable des points au bord pourrait être de l'ordre de 2 ou 3 fois ces erreurs (voir figure 4).

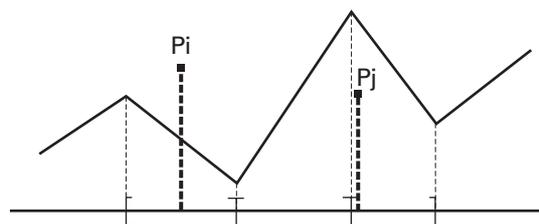


Figure 4 : Dans ce schéma le point P_i est accepté et le point P_j est refusé.

■ Résultats

$\Delta \sigma_z$ (%) et $\Delta \sigma_p$ (%) sont les erreurs relatives (pourcent) de l'estimation de la méthode proposée par rapport à la distribution de l'échantillon. Pour chaque test, sept essais ont été réalisés pour montrer les variations. ■■■

Test 1 :

Quantité de points : 500 ; σ_p : 15 ; σ_z : 10 ; ($\sigma_p > \sigma_z$) et terrain peu accidenté : intervalle angulaire: -10 / 10

Distribution de l'Echantillon : σ_p : 14,84 ; σ_z : 9,89 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	1,12 %	3,82%	2,20%	0,77%	3,15%	0,32%	2,22%
$\Delta \sigma_p$ (%)	38,61%	50,36%	84,00%	15,13%	70,23%	4,31%	27,56%

Terrain plat : résultats en planimétrie non satisfaisants.

Test 2 :

Quantité de points : 500 ; σ_p : 10 ; σ_z : 15 ; ($\sigma_p < \sigma_z$) et terrain peu accidenté : intervalle angulaire: -10 / 10

Distribution de l'Echantillon : σ_p : 9,58 ; σ_z : 15,26 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	1,92%	3,68%	2,11%	2,5%	7,57%	5,10%	5,52%
$\Delta \sigma_p$ (%)	205,16%	354,23%	260,26%	237,66%	524,00%	412,33%	410,80%

Terrain plat et avec $\sigma_p < \sigma_z$ les résultats en planimétrie sont très mauvais.

Test 3 :

Quantité de points : 500 ; σ_p : 15 ; σ_z : 10 ; ($\sigma_p > \sigma_z$) et terrain légèrement accidenté : intervalle angulaire: -20 / 20

Distribution de l'Echantillon : σ_p : 14,84 ; σ_z : 9,89 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	2,23%	3,93%	3,23%	2,56%	0,69%	3,26%	4,78%
$\Delta \sigma_p$ (%)	15,83%	51,10%	33,74%	20,14%	15,16%	13,58%	83,57%

Terrain légèrement accidenté : résultats en planimétrie non satisfaisants.

Test 4 :

Quantité de points : 1000 ; σ_p : 15 ; σ_z : 10 ; ($\sigma_p > \sigma_z$) et terrain peu accidenté: intervalle angulaire: -10 / 10

Distribution de l'Echantillon : σ_p : 15,09 ; σ_z : 10,11 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	2,20 %	2,14%	0,52%	4,07%	6,47%	5,76%	0,96%
$\Delta \sigma_p$ (%)	7,03%	10,29%	41,71%	70,89%	144,65%	111,04%	7,87%

Terrain plat : résultats en planimétrie non satisfaisants.

Test 5 :

Quantité de points : 1000 ; σ_p : 15 ; σ_z : 10 ; et terrain légèrement accidenté: intervalle angulaire: -20 / 20

Distribution de l'Echantillon : σ_p : 15,09 ; σ_z : 10,11 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	0,70%	0,88%	2,76%	4,10%	0,94%	2,50%	5,56%
$\Delta \sigma_p$ (%)	9,08%	15,71%	32,17%	49,50%	6,32%	39,48%	44,29%

Terrain légèrement accidenté : résultats en planimétrie non satisfaisants.

Test 6 :

Quantité de points : 5000 ; σ_p : 15 ; σ_z : 10 ; ($\sigma_p > \sigma_z$) et terrain peu accidenté: intervalle angulaire : -10 / 10

Distribution de l'Echantillon : σ_p : 14,97 ; σ_z : 10,03 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	0,57%	0,70%	0,32%	1,33%	0,33%	1,80%	0,21%
$\Delta \sigma_p$ (%)	26,18%	18,28%	2,82%	56,66%	12,24%	12,28%	7,56%

Terrain plat : résultats en planimétrie légère amélioration.

Test 7 :

Quantité de points : 5000 ; σ_p : 15 ; σ_z : 10 ; ($\sigma_p > \sigma_z$) et terrain légèrement accidenté : intervalle angulaire: -20 / 20

Distribution de l'Echantillon : σ_p : 14,97 ; σ_z : 10,03 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	2,52%	0,91%	2,11%	2,74%	0,93%	3,27%	1,46%
$\Delta \sigma_p$ (%)	46,73%	6,76%	16,91%	18,27%	6,32%	33,49%	16,86%

5 000 points, terrain légèrement accidenté: résultats encourageants.

Test 8 :

Quantité de points : 5000 ; σ_p : 10 ; σ_z : 15 ; ($\sigma_p < \sigma_z$) et terrain assez accidenté : intervalle angulaire: -30 / 30

Distribution de l'Echantillon : σ_p : 10,03 ; σ_z : 15,03 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	0,87%	1,43%	0,48%	0,97%	2,88%	1,69%	0,72%
$\Delta \sigma_p$ (%)	11,02%	9,17%	0,78%	4,78%	18,00%	5,36%	2,83%

5 000 points, terrain assez accidenté: résultats satisfaisants en planimétrie, même avec ($\sigma_p < \sigma_z$)

Test 9 :

Quantité de points : 10000 ; σ_p : 10 ; σ_z : 10 ; ($\sigma_p = \sigma_z$) et terrain assez accidenté: intervalle angulaire: -30 / 30

Distribution de l'Echantillon : σ_p : 9,95 ; σ_z : 10,06 ; (résultat réel du bruitage).

$\Delta \sigma_z$ (%)	0,37%	1,26%	0,62%	0,01%	1,57%	0,11%	0,67%
$\Delta \sigma_p$ (%)	0,90%	9,72%	6,48%	3,30%	8,84%	1,96%	7,32%

10000 points, terrain assez accidenté: résultats satisfaisants en planimétrie, avec ($\sigma_p = \sigma_z$)

Analyse et conclusions

L'analyse des résultats repris dans les tableaux qui précèdent conduit aux conclusions suivantes : l'écart, par rapport à la valeur de l'échantillon, des résultats en altimétrie, obtenus par l'estimateur proposé dans cet article, dépasse très rarement les 10 %. De plus, en fonction de la quantité de points (1000 ou plus) ces différences sont fréquemment inférieures au 1%. L'estimation des erreurs en altimétrie est donc très satisfaisante même dans les cas de terrains très accidentés. Notons que les méthodes simples (par ex. : mesure de distances verticales entre le modèle et la référence) ne donnent pas de bons résultats en terrain accidenté.

En planimétrie, bien que le problème soit déjà résolu pour les cartes par rapport à une référence par la méthode de la distance de Hausdorff, cet estimateur donne de bons résultats pour les MNT sous certaines conditions : terrain suffisamment accidenté et quantité de points très importante. Ces résultats sont encore meilleurs si l'erreur en planimétrie est supérieure à l'erreur en altimétrie.

Dans le cas de MNT obtenus par Interférométrie Radar où l'er-

reur en X est normalement différente de l'erreur en Y, on aura besoin d'un terrain présentant de fortes irrégularités et d'une quantité considérable de points, pour que les résultats obtenus aient un écart relatif inférieur aux 10 ou 15 %.

Avec les deux semis de points, celui du modèle et celui de la référence, il convient finalement de noter que l'application informatique qui permet d'estimer les erreurs du modèle par rapport à la référence, ne pose pas de problèmes majeurs. ●

JOSÉ FRANCISCO ZELASCO

Contacts

jfz@fecic.edu.ar

Faculté des Sciences Exactes et Naturelles et Faculté d'Ingénierie
- Université de Buenos Aires

Faculté des Sciences Exactes - Université du Centre de la Province
de Buenos Aires Argentine

Bibliographie

[ABA/94] **ABBAS Iyad**, "Base de Données vectorielles et erreur cartographique : problèmes posés par le contrôle ponctuel ; une méthode alternative fondée sur la distance de Hausdorff : le contrôle linéaire," Thèse, Université Paris 7, 1994.

[ABA/94b] **ABBAS Iyad, GRUSSENMEYER Pierre, HOTTIER Philippe** "Base de Données géolocalisées : estimation de l'erreur cartographique: une méthode fondée sur la distance Hausdorff : le contrôle linéaire. Remarques sur le contrôle ponctuel" Notes de cours, ENSG IGN 1994.

[GRU/94] **GRUSSENMEYER Pierre, HOTTIER Philippe, ABBAS Iyad** "Le contrôle topographique d'une carte ou d'une base de données constituées par voie photogrammétrique," Rev. XYZ 59, 2^e trimestre 1994

[HAB/97] **HABIB Mohamed**, "Etude, par simulation, de la précision altimétrique et planimétrique d'un MNT obtenu par corrélation d'images spatiales (capteur à balayage) - Précision d'un MNT régulier - Erreur de rendu d'un semis régulier - Description d'une structure de MNT régulier," Thèse, Université Paris 7, 1997.

[HOT/96] **HOTTIER Philippe**, "Qualité géométrique de la planimétrie. Contrôle ponctuel et contrôle linéaire," Dossier: La notion de précision dans le GIS, Rev. Géomètre, Juin 1996.

[HOT/96b] **HOTTIER Philippe**, "La méthode du contrôle linéaire en planimétrie - Propositions pour une typologie des détails anormaux," ENSG, IGN, 1996.

[HOT/96c] **HOTTIER Philippe**, "Précis de statistiques," ENSG, IGN, 1996.

[PIQ/96] **PIQUET-PELLOERCE Daniel**, "Qualité dans les modèles numériques de terrain," Dossier : La notion de précision dans les SIG, Rev. Géomètre, Juin 1996.

[POR/96] **PORNON Henry**, "Données précises ou données de qualité?" Dossier : La notion de précision dans le GIS, Rev. Géomètre, Juin 1996.

[ROU/96] **ROUSSELOT Claude**, "La base de données topographique de l'IGN," Dossier : La notion de précision dans les SIG, Rev. Géomètre, Juin 1996.

[VEI/94] **VEILLET Isabelle**, "Une démarche qualité à l'IGN : Application à la réalisation de la BDTopo," Rev. XYZ 59, 2^e trimestre 1994.

[ZEL/00] **ZELASCO, José Francisco, ENNIS Kevin**, "Solución de un problema en la estimación de variancias en un caso especial en el que son se pueden aplicar estimadores habituales," XXVIII Coloquio Argentino de estadística, Posadas, Misiones, Argentina, Août 2000.

[ZEL/00b] **ZELASCO José Francisco, ENNIS Kevin** "Sistemas de Información geográfica Calidad geométrica de modelos numericos de terreno," SELPER 2000, Congreso latinoamericano de percepción remota, Puerto Iguazú, Argentina, Noviembre 2000.

[ZEL/01] **ZELASCO José Francisco, ENNIS Kevin, BLANGINO Eugenia** "Quality Control in Altimetry and Planimetry for 3D Digital Models," 8th European Congress for Stereology and Image Analysis. Bordeaux, France, septembre 2001.

ABSTRACT

In a Digital Elevation Model (DEM) the mean square error has not necessarily the same value in height and in the horizontal direction. We have tried several solutions for evaluating these errors separately. These solutions were derived from studies concerning the error in the horizontal plane. The quality of these solutions, evaluated by simulations, is not very up to standard. We try a new way that is to evaluate the parameters of the ellipsoid error centered in the reference surface. In a first step, we limit our study to the ellipse error; then, we generalize the result to the revolution ellipsoid. We find out the ellipse parameters by calculation using the distances between the tangent to the ellipse and the line passing through the center of the ellipse and parallel to the tangent. These distances are the mean squares of distances between the points of the DEM and the reference profile in the tangent direction. We show that this distance is also the square root of the variance in the tangent direction. This mean square solution is canonical. When the error in planimetry is not the same in the x and in the y axes, we need an important number of points and a quite rough surface for an acceptable estimation. The simulation results in several cases are adequate and satisfactory.

RESUMEN

Los modelos numéricos de terreno almacenados en sistemas de información geográficos no tienen, normalmente, el mismo error en altimetría que en planimetría. Después de haber encarado varias soluciones derivadas de estudios de error en planimetría, y realizar diversas simulaciones con resultados no satisfactorios se decidió estudiar el problema desde otra óptica. La solución propuesta consiste en determinar los parámetros de las elipses o de los elipsoides de error centrados en la superficie de referencia. Primeramente, y en lo que concierne a este artículo, el estudio se limitó a elipses de error centrados en perfiles de referencia. Se determinan los parámetros de dicha elipse a partir de la distancia que separan tangentes a la elipse del centro de la misma. Notemos que esta distancia es la media cuadrática de las distancias que separan el perfil de referencia de los puntos del modelo numérico que se quiere evaluar, es decir, la raíz cuadrada de la varianza marginal en la dirección de la tangente. Se generaliza a los elipsoides de revolución. Es el caso en que el error en planimetría tiene el mismo valor en todas las direcciones del plano horizontal (no es el caso de los MNT producidos v.g. por interferometría radar). Finalmente, para evaluar los tres parámetros de un elipsoide, caso en el que los errores son diferentes en las tres direcciones se observa que la cantidad de puntos necesaria para la simulación es importante y la superficie debe ser muy accidentada. En caso contrario es muy difícil estimar los errores en x e y. Sin embargo, en todos los casos, es decir, que se trate de un elipsoide de revolución o no, la estimación del error en z (altimetría) da resultados muy satisfactorios.