

Extraction de réseaux de rues à partir d'images satellites à haute résolution spatiale

Renaud PÉTERI, Thierry RANCHIN

Groupe Télédétection & Modélisation - Ecole des Mines de Paris
Rue Claude Daunesse, B.P. 207 - 06904 Sophia Antipolis cedex, France
renaud.peteri@ensmp.fr, thierry.ranchin@ensmp.fr

Résumé – Cet article traite le problème de l'extraction de réseaux de rues à partir des nouvelles images satellites à haute résolution spatiale. La méthode proposée se décompose en deux modules séquentiels: un graphe topologiquement correct du réseau de rues est tout d'abord extrait, puis les rues sont ensuite extraites en tant qu'éléments de surface. Le graphe topologique du réseau peut être extrait de manière automatisée (par algorithme de suivi minimisant une fonction de coût) ou provenir d'une base de données. L'algorithme d'extraction surfacique des rues fait intervenir des contours actifs combinés à une analyse multirésolution afin d'accélérer la convergence de l'algorithme et de minimiser le problème du bruit géométrique. Cette phase de reconstruction comprend deux étapes séquentielles: l'extraction des rues puis le traitement des intersections. Des résultats de l'extraction de réseaux de rues sont présentés afin d'illustrer les différentes phases de la méthode et les perspectives de recherche sont exposées.

Abstract – This article addresses the problem of street extraction from new high resolution satellite images. The proposed algorithm is divided in two sequential modules: a topologically correct graph of the street network is first extracted, and streets are then extracted as surface elements. The graph of the network is extracted by a following algorithm which minimizes a cost function, or it can come from a street database. The extraction algorithm makes use of specific active contours (snakes) combined with a multiresolution analysis (MRA) for minimizing the problem of geometric noise. This reconstruction phase is composed of two steps: the extraction of street segments and the extraction of street intersections. Results of the street network extraction are presented in order to illustrate the different steps of the method and future prospects are exposed.

1 Extraction de réseaux routiers

1.1 Un bref état de l'art

L'extraction de routes a fait l'objet de nombreux travaux en traitement d'images et en télédétection depuis une vingtaine d'années. Cependant, l'extraction automatique ou semi-automatique de routes est toujours, à cause de sa complexité, un thème actif de recherche.

Parmi les méthodes existantes, on peut citer la morphologie mathématique [5], les réseaux de neurones [3], la programmation dynamique [6], les contours actifs [7], les modèles de Markov [12] ou l'analyse multirésolution [2, 4]. Ces méthodes exploitent les caractéristiques principales des routes dans l'image (géométrie, radiométrie,...) ainsi que les propriétés sur le réseau (comme la connexité). Certains travaux [2, 11] prennent en compte le contexte spatial afin de se focaliser sur les régions qui ont le plus de chance de contenir une route.

La possibilité récente d'avoir des images satellites à haute résolution spatiale (inférieure ou égale au mètre) a relancé l'intérêt pour l'extraction de rues (notamment pour ses applications dans le domaine urbain). Cette meilleure résolution permet une localisation plus précise de la rue ainsi que son extraction en tant qu'élément de surface. En contrepartie, elle engendre une complexité plus grande de l'image ainsi qu'une augmentation du bruit géométrique (véhicules, arbres le long des rues, occlusions, ...).

2 L'approche proposée

2.1 Description

Le but de nos travaux est de fournir une assistance à l'interprète d'images satellites lors de la saisie du réseau de rues, ainsi que de caractériser le réseau extrait. La méthode proposée dans ce but est modulaire (Fig. 1).

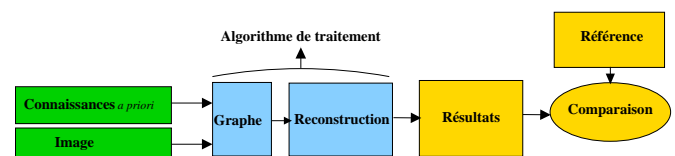


FIG. 1 – Schéma global de la méthode

Les entrées de l'algorithme, en plus de l'image satellite à haute résolution, sont des modèles de rues (comme les propriétés des rues définies dans [4]) et les propriétés topologiques du réseau (comme la connexité).

L'algorithme de traitement a été décomposé en deux parties séquentielles (similairement à [1]), permettant une extraction dissociée du graphe représentant le réseau de rues et des rues en tant qu'objets dans l'image.

Tout d'abord, un graphe topologiquement correct du réseau de rues est extrait, donnant les relations spatiales entre les différentes rues ainsi qu'une approximation de leur localisation.

L'étape suivante est la reconstruction du réseau de rues. Du fait de la haute résolution des images utilisées (moins d'un mètre), la rue est reconstruite en tant qu'élément de surface. Cette étape utilise le résultat de l'extraction du graphe topologique du réseau comme initialisation pour la reconstruction surfacique. Les différents modules composant la méthode sont décrits dans les paragraphes suivants.

2.2 Module du graphe

Il s'agit lors de ce module d'extraire un graphe topologiquement correct du réseau de rues. Cette étape vise à donner correctement les connexions spatiales entre les différentes polygones représentant les rues ainsi qu'une information sur leur localisation dans l'image.

Le graphe peut provenir d'une base de données ou être extrait de manière automatisée. Dans le second cas, l'algorithme d'extraction du graphe provient des travaux de [1] : un algorithme de suivi sélectionne le meilleur chemin pour la rue à détecter en minimisant une fonction de coût. Cette fonction de coût évalue l'homogénéité de la texture locale dans les directions de propagation possibles. La robustesse de l'algorithme est assurée par une optimisation du critère d'homogénéité sur une distance assez grande. Afin de réduire le bruit géométrique limitant les performances de l'algorithme, un filtre de lissage peut être appliqué.

Après cette étape, le graphe extrait est topologiquement correct mais les différentes polygones ne sont pas nécessairement bien recalées et le réseau n'est représenté que de manière linéique. A partir du graphe extrait, les polygones sont alors échantillonnées et propagées suivant la direction de leur normale afin d'initialiser le module de reconstruction surfacique.

2.3 Module de reconstruction

2.3.1 Description

Le but de ce module est d'extraire les rues comme des éléments de surface à partir du graphe fourni à l'étape précédente. Ce module fait intervenir des contours actifs spécifiques (*snakes*) combinés avec une analyse multirésolution (AMR). L'implémentation du contour actif est basée sur l'algorithme *glouton* décrit par [13]. L'utilisation de l'AMR avec la transformée en ondelettes permet d'effectuer une détection multi-échelles des contours (voir [8]). Elle permet aussi d'accélérer la convergence de l'algorithme en réduisant l'effet du bruit géométrique (véhicules, marquage au sol, ...).

Deux étapes séquentielles composent cette phase de reconstruction : l'extraction des segments de rues avec des bords parallèles et l'extraction des intersections de rues. En effet, ces deux objets présentent de trop grandes différences de topologie et de forme pour être extraits de la même manière. Un cercle centré sur le nœud du graphe définissant une intersection et englobant l'intégralité de l'intersection va différencier le type de traitement à effectuer (Fig. 2).

2.3.2 Extraction des bords parallèles

Afin d'extraire les portions de rues à bords parallèles, un nouvel objet a été défini : le *DoubleSnake*. Il est composé de

deux contours actifs ouverts (appelés *brins*) possédant les contraintes d'évolution des contours actifs simples tout en interagissant pour garder un parallélisme local entre eux. Un nouveau terme $E_{//}$ a été introduit afin de prendre en compte la notion de parallélisme entre ces deux brins. De plus, ses extrémités sont contraintes de minimiser leur énergie en restant sur le cercle d'intersection.

La fonctionnelle d'énergie du *DoubleSnake* est définie comme :

$$E = \sum_i \left[\alpha^i E_{cont}^i + \beta^i E_{curv}^i + \gamma^i E_{2j_{image}}^i + \delta^i E_{//}^i \right] \quad (1)$$

où i représentent le point i d'un des brins.

E_{cont}^i et E_{curv}^i sont des énergies internes qui contrôlent la forme du *DoubleSnake*. Une attention particulière est portée sur le terme d'énergie image $E_{2j_{image}}^i$, car c'est ce terme qui va attirer le contour actif vers l'objet à extraire.

Cette énergie image est calculée en utilisant les coefficients d'ondelettes à différentes résolutions spatiales :

$$E_{2j_{image}}^i = -\sqrt{|W_{2j}^1 f(i)|^2 + |W_{2j}^2 f(i)|^2} \quad (2)$$

avec $W_{2j}^{1,2} f(i)$ les coordonnées de la transformée en ondelettes et j la résolution pour une analyse dyadique.

Une description plus détaillée des différents termes d'énergie est décrite dans ([9])

2.3.3 Extraction des intersections

Le traitement des intersections intervient une fois que la phase d'extraction des contours parallèles est terminée. La structure de contour actif utilisée (*IntersectionSnake*) au cours de cette étape consiste en un contour ouvert initialisé en appariant les extrémités des *DoubleSnakes* (voir fig. 2). Un *IntersectionSnake* a ses extrémités fixes et est contraint à ne jamais sortir du cercle d'intersection.

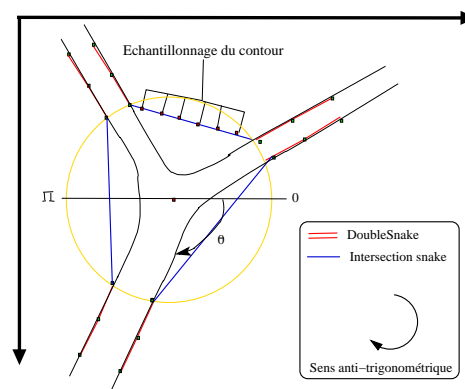


FIG. 2 – Initialisation des contours actifs d'intersection

2.3.4 Déroulement de l'algorithme

La figure 3 représente le déroulement de l'algorithme de reconstruction à partir du graphe du réseau.

A partir de l'image à la résolution originale, une analyse multirésolution est effectuée, donnant une série de plans de contexte et une série de plans d'ondelettes. Les *DoubleSnakes* évoluent

sur les plans de contexte successifs, de la résolution la plus basse jusqu'à évoluer sur l'image de résolution initiale. Ainsi, pour chaque plan de contexte, une énergie image est calculée à partir du plan d'ondelette associé. La pondération choisie pour l'énergie image décroît avec la résolution, ceci afin d'éviter de piéger les contours actifs dans des minima locaux d'énergie constitués par des pics de bruit.

Une fois que les *DoubleSnakes* ont tous minimisé leur énergie, les *IntersectionSnakes* sont initialisés et leur extraction s'effectue dans le même processus multirésolution. Deux contraintes s'ajoutent lors de leur évolution : les extrémités sont fixes et le contour actif doit maintenir une continuité d'ordre C^1 à chacune de ses extrémités avec le brin du contour parallèle qu'il prolonge.

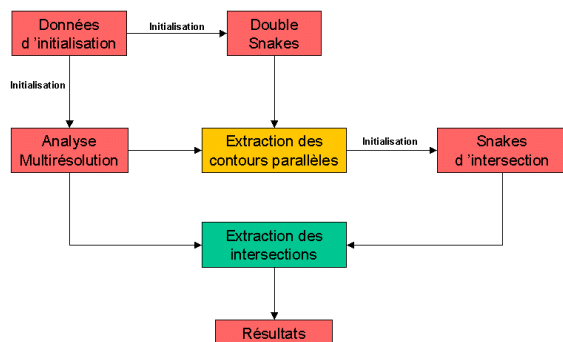


FIG. 3 – Algorithme de reconstruction

A la fin des différentes itérations, tous les contours actifs se trouvent alors dans un état d'équilibre.

3 Résultats et perspectives

3.1 Application sur une scène réelle

Le module du graphe étant en cours d'intégration, seul le module de reconstruction sera illustré dans l'exemple suivant.



FIG. 4 – Image originale avec le graphe

L'image 4 provient du satellite IKONOS qui possède une résolution spatiale de 1 mètre en mode panchromatique. Cette image comprend une intersection de deux rues principales sur laquelle le graphe d'entrée (provenant d'une base de données ou saisi manuellement) a été superposé (figure 4).

Les images 5, 6 et 7 représentent les différentes phases du déroulement de l'algorithme.

Sur l'image 5, les polygones constituant le graphe d'entrée ont été échantillonnés puis propagés. Le cercle délimitant la limite entre les deux types de traitement est aussi reporté.



FIG. 5 – Après propagation des polygones

A l'étape de l'image 6 les portions de rues à bords parallèles ont été extraites par les *DoubleSnake* après avoir évolué sur les différents plans de contexte de la pyramide multirésolution.



FIG. 6 – Après traitement des contours parallèles

Le résultat final d'extraction après le traitement des intersections est représenté sur l'image 7. Les contours ont été extraits avec une bonne précision (sauf la « pointe » de l'intersection, en partie à cause de son faible gradient).

L'utilisation de l'approche multirésolution a permis aux contours actifs de ne pas être piégés par le bruit géométrique comme le marquage au sol.



FIG. 7 – Après traitement des intersections

3.2 Conclusion et perspectives

Cet article décrit une nouvelle méthode pour extraire le réseau de rues à partir d'images satellite haute résolution. Un graphe topologiquement correct du réseau de rues est d'abord extrait, et les rues sont ensuite extraites comme éléments de surface. Le graphe du réseau est extrait par un algorithme de suivi minimisant une fonction de coût [1]. Le module de reconstruction du réseau à partir de son graphe fait intervenir des contours actifs spécifiques combinés à une analyse multirésolution.

Les travaux visant à accroître la robustesse de l'algorithme sont en cours, particulièrement dans le cas d'environnements bruités comme le domaine urbain. L'utilisation des plans d'ondelettes dérivant de l'AMR afin d'extraire des informations de texture caractéristiques de la rue pourraient contraindre l'évolution des contours actifs. De l'information contextuelle comme la présence de files de voitures ou l'alignement de bâtiments peut aussi être une aide pour l'extraction.

Enfin, les résultats seront caractérisés par les critères quantitatifs de validation définis dans la méthode globale ([10]).

Remerciements

Ce travail a été soutenu par une bourse CNRS/DGA du ministère de la défense. Les auteurs remercient Sylvain Airault de l'Institut Géographique National pour avoir fourni les sources de son programme. L'image IKONOS de la zone de Hasselt,

Belgique a été gracieusement fournie par l'entreprise G.I.M. (*Geographic Information Management*).

Références

- [1] S. Airault and O. Jamet. Détection et restitution automatique du réseau routier sur des images aériennes. *Traitement du Signal*, 12(2) :189–200, 1995.
- [2] A. Baumgartner, C. Steger, H. Mayer, W. Eckstein, and E. Heinrich. Automatic road extraction based on multi-scale, grouping, and context. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65(7) :777–785, 1999.
- [3] U. Bhattacharya and S.K. Parui. An improved backpropagation neural network for detection of road-like features in satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 18(16) :3379–3394, 1997.
- [4] I. Couloigner and T. Ranchin. Mapping of urban areas : A multiresolution modeling approach for semi-automatic extraction of streets. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(7) :867–874, 2000.
- [5] I. Destival. Recherche automatique de réseaux linéaires sur des images spot. *Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 66 :5–16, 1987.
- [6] A. Gruen and H. Li. Road extraction from aerial and satellite images by dynamic programming. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 50(4) :11–20, 1995.
- [7] I. Laptev, H. Mayer, T. Lindeberg, W. Eckstein, C. Steger, and A. Baumgartner. Automatic extraction of roads from aerial images based on scale space and snakes. *Machine Vision and Applications*, 12 :23–31, 2000.
- [8] S.G. Mallat. *A Wavelet Tour of Signal Processing*. AP Professional, London, 1997.
- [9] R. Péteri, J. Celle, and T. Ranchin. Contours actifs et analyse multirésolution pour l'extraction de réseaux de rues à partir d'images satellites. In *Congrès Francophone de Vision par Ordinateur ORASIS'03*, pages 393–401, Gérardmer, France, Mai 2003.
- [10] R. Péteri, I. Couloigner, and T. Ranchin. How to assess quantitatively road extracted from high resolution imagery? *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2003. to appear.
- [11] R. Ruskoné. *Extraction automatique du réseau routier par interprétation locale du contexte : application à la production de données cartographiques*. PhD thesis, Université de Marne-la-Vallée, 1996.
- [12] R. Stoica, X. Descombes, and J. Zérubia. A markov point process for road extraction in remote sensed images. Technical Report 3923, Rapport de recherche de l'INRIA, avril 2000.
- [13] D.J. Williams and M. Shah. A fast algorithm for active contours and curvature estimation. In *CVIP : Image Understanding*, volume 55, pages 14–26, January 1992.