

UNE APPLICATION DE LA THEORIE DES GRAPHES A L'EXTRACTION AUTOMATIQUE DES RESEAUX DE COMMUNICATION DANS LES IMAGES DU SATELLITE SPOT

Moncef DAOUD - Christian ROUX - Alain HILLION

Groupe Traitement d'Images
Département Mathématiques et Systèmes de Communication
Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne
B.P. 832 - 29285 Brest Cédex - France

RESUME

Une application de la théorie des graphes est proposée pour extraire les structures correspondant à des réseaux de communication dans des images du satellite SPOT. Après avoir précisé comment formaliser ce problème en terme de recherche d'un chemin de coût minimal, on présente des résultats d'une première application semi-automatique. Une deuxième méthode est développée ensuite. Fondée sur un traitement en deux temps (détection d'un réseau primaire, puis chaînage des éléments à l'aide d'une extension de la première méthode), elle permet une extraction automatique d'une grande partie du réseau.

SUMMARY

We propose an application of the graph theory to extract the communication networks in the SPOT satellite images. The theoretical framework is presented as the search for the shortest path on a graph. A first application is derived on a semi-automatic basis. A second method is proposed, that is based on a two step processing (primary network detection, followed by a linking of the isolated edges using a generalisation of the first algorithm). It allows the automatic extraction of a major part of the network.

I - INTRODUCTION

On présente ici une étude relative à l'extraction des réseaux de communications (routes, rivières, voies ferrées) par traitement des images du satellite SPOT. Ce problème, rendu difficile par le fait que les structures recherchées sont à la limite de résolution du capteur, a déjà reçu quelques solutions [4,5,6] dans la littérature.

Pour notre part, nous proposons une démarche utilisant un outil commun à un traitement semi-automatique et à un traitement automatique; cet outil, s'inspirant d'un algorithme classique de décodage séquentiel de Dijkstra, permet de suivre un contour par optimisation d'un parcours de graphe.

Dans le paragraphe suivant, on précise comment formaliser le problème de détection et de suivi de contour à l'aide de graphes.

Le paragraphe III présente une application directe à l'extraction des réseaux par approche semi-automatique, les états de de départ et d'arrivée étant déterminés interactivement.

Pour l'automatisation complète de l'extraction, un traitement en deux parties est proposé dans le paragraphe IV. Dans un premier temps, on procède à l'extraction d'un réseau primaire, esquisse du réseau final, à l'aide d'une méthode désormais classique de traitement morphologique [5]. Dans ce réseau primaire, nous proposons de rechercher et de caractériser les extrémités susceptibles de constituer les points de départ d'un chaînage automatique.

Dans un deuxième temps, on procède au chaînage selon une méthode de suivi-automatique. Pour mieux contrôler la recherche, nous introduisons trois éléments nouveaux qui sont la fonction de surcoût, le trajet inverse et le couloir de recherche.

Les résultats, présentés sur une image extraite d'une scène SPOT, permettent d'apprécier l'efficacité de la méthode et d'en cerner les limites.

II - RECHERCHE D'UN CHEMIN DE COUT MINIMAL

L'approche retenue pour l'extraction des réseaux de communication à partir des images du satellite SPOT est analogue à celle proposée par A. Martelli [2] pour la détection de frontières dans des images bruitées.

$X(s)$ étant le niveau de gris du pixel $s, s=(0,0),(0,1),\dots$, on associe à l'image $\{X(s), s \in I \subset \mathbb{N}^2\}$ le graphe dont les nœuds sont les contours élémentaires.

Un nœud du graphe $x=(s,t)$ est la frontière orientée, le vecteur $\overrightarrow{A(x)B(x)}$ séparant deux pixels voisins s et t (tels que $\|s-t\|=1$). Le nœud y est successeur du nœud x ($x \rightarrow y$) si $A(y)=B(x)$ et $B(y) \neq A(x)$. Chaque nœud a donc trois successeurs possibles (cf Figure 1 : y_1, y_2, y_3).

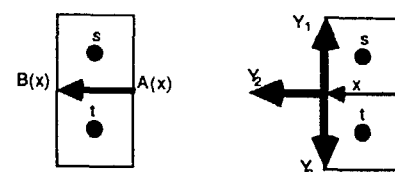


Figure 1.



Un réseau reliant (a) à (b) est un chemin $\gamma_n=(x_0,x_1,\dots,x_n)$ tel que $a=x_0, \dots, b=x_n$.

On définit pour chaque réseau possible γ_n un coût $C(\gamma_n)$ représentatif de certaines propriétés de régularité (contraste, courbure...) et on cherche parmi tous les chemins reliant (a) à (b) un chemin de coût minimal, en utilisant, suivant la forme des fonctions coût, des algorithmes de type décodage séquentiel ou A^* [1,2].

Dans l'approche semi automatique présentée au paragraphe suivant on retient deux fonctions de coût $C_1(\gamma_n)$ et $C_2(\gamma_n)$ définies récursivement pour un chemin $\gamma_n=(x_0,\dots,x_n)$ et prenant en compte respectivement le contraste et la courbure :

$$C_1(\gamma_n) = C_1(\gamma_{n-1}) + C(x_n)$$

où $C(x_n) = \text{Sup}(0, M + X(u) + X(v) - X(s) - X(t))$ mesure le contraste entre deux zones séparées par le contour élémentaire x_n (cf Figure 2).

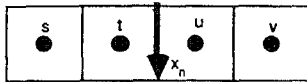


Figure 2.

(M est la différence maximale de niveau de gris entre pixels voisins)

$$C_2(\gamma_n) = C_2(\gamma_{n-1}) + \alpha \cdot \theta_n$$

où θ_n , angle des deux vecteurs $\overrightarrow{A_{n-2}k} \overrightarrow{B_{n-k}}$ et $\overrightarrow{A_{n+1-k}} \overrightarrow{B_n}$, mesure la courbure en comparant l'orientation entre deux sous chemins chacun constitué de k contours élémentaires, α coefficient de pondération.

Le coût global du réseau est alors

$$C(\gamma_n) = C_1(\gamma_n) + C_2(\gamma_n)$$

III - APPLICATION A L'EXTRACTION SEMI-AUTOMATIQUE

L'algorithme de recherche d'un réseau de coût minimum génère pas à pas le graphe à partir d'un nœud de départ (a) jusqu'à ce qu'il atteigne le nœud d'arrivée (b); le chemin ainsi trouvé est relatif à un coût minimum.

La méthode est semi-automatique du fait que l'intervention de l'utilisateur est nécessaire pour déterminer les positions de départ et d'arrivée (position, direction).

L'application est faite sur une sous-image de taille (256,256) d'une scène SPOT de la Rochelle - France (scène du 30.6.86, XS3 - 20 m, K= 35 - J = 257 dans le système de référence SPOT-IMAGES).

Les résultats obtenus par cette approche semi-automatique sont illustrés par la figure 6. La superposition du réseau avec l'image originale, montre qu'on retrouve les trois structures recherchées (autoroute, route, voie ferrée) avec précision. Le temps de traitement automatique est de 12 minutes (CPU) sur un MicrovaxII.

Cette approche semble efficace pour certaines applications particulières répondant à la demande des utilisateurs (urbanistes, aménageurs). Elle ne fait appel à aucune connaissance préalable de l'image et ne nécessite ni prétraitement de l'image ni extraction du réseau entier.

IV - VERS UN TRAITEMENT AUTOMATIQUE

Les résultats obtenus par la méthode semi-automatique sont intéressants, et permettent d'envisager, sur le principe précédent, une généralisation tendant à obtenir de manière automatique l'ensemble du réseau. Nous proposons une approche en deux étapes (détection primaire et suivi automatique).

IV.1 Détection primaire

Cette étape consiste à une extraction primaire du réseau reposant sur diverses techniques à base de la morphologie mathématique, ou à base d'opérateurs classiques de détections de contours, mettant en évidence une esquisse du réseau recherché, et permettant la localisation des emplacements probables de l'information manquante.

Diverses méthodes peuvent être utilisées pour une détection de bas niveau [3,4,5,7,6]. Nous avons utilisé les transformations de morphologie mathématique [8] : une transformation chapeau haut de forme suivie d'une sélection des tronçons les plus longs. Cette étape élimine les courts éléments de contours de longueur inférieure à un seuil donné.

L'image des contours dilatée servira par la suite pour la localisation des extrémités de départ.

Recherche des extrémités

La position d'un point de départ et sa direction associée n'est en général pas suffisante pour lancer l'algorithme de recherche. Il est préférable d'avoir une information rigoureuse sur des points susceptibles de constituer une zone de départ, afin de lancer le graphe dans la direction la plus probable d'une extrémité de contour.

Nous avons procédé à la recherche des extrémités sur l'image des contours dilatée par un automate de recherche (cf figure 3). Cet automate sélectionne, dans une fenêtre d'observation de taille (N,N), des configurations de points connectés au pixel central présentant une forte courbure. Les configurations linéaires, qui ne sont pas susceptibles d'appartenir à une extrémité, sont rejetées.

L'automate de recherche opère sur deux fenêtres d'analyse de taille (m,m) et (m+2,m+2), (m = 3,5,7,9,11...). On cherche pour chaque pixel non nul situé sur le bord de la fenêtre de taille (m+2, m+2), extraite de la fenêtre d'observation, s'il est connecté à un pixel du bord de la fenêtre de taille (m, m), (cf figure 4). Les pixels connectés au pixel central sont mémorisés dans la fenêtre de taille (m,m).

Chaque pixel central est retenu si le barycentre des points connectés à ce pixel est à une distance supérieure à un seuil donné. En effet, la courbure locale se mesure par le degré d'éloignement du barycentre au centre de la fenêtre. La direction associée au barycentre donne la direction de la courbure affectée au pixel central.

On évalue enfin, pour chaque extrémité, l'angle moyen calculé à partir de tous les points constituant l'extrémité en question et on affecte la direction de recherche correspondante.

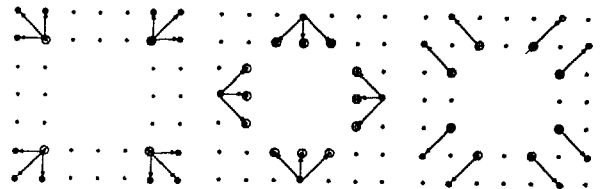


Figure 3. Automate de recherche

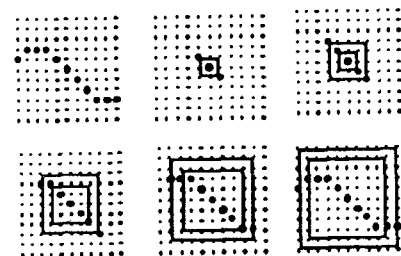


Figure 4. Exemple de recherche d'une configuration

IV.2) Suivi automatique

La deuxième étape est celle du suivi automatique guidé par l'utilisation conjointe de trois fichiers de données :

- Image des contours étiquetée
- Fichier des données d'extrémités (numéro de l'individu, position, direction, angle)
- Image originale

Un graphe parcourant l'image originale est lancé de chaque extrémité à la recherche d'un chemin prolongeant les tronçons existants (d'étiquettes différentes). L'élaboration du graphe s'achève si l'un des deux critères suivants est réalisé :

- le suivi rencontre un autre tronçon d'étiquette différente du tronçon de départ, ou un bord
- le coût maximal autorisé est atteint

IV.3) Contrôle de la recherche

L'élaboration du graphe nécessite une attention particulière pour éviter l'explosion combinatoire. L'introduction de certains critères de contrôle canaliseront la recherche dans le graphe.

1. Fonction de surcoût (fonction pénalité)

Cette fonction donne une certaine inertie et évite le suivi de fausses pistes de recherche au départ de l'algorithme. Afin de favoriser la direction de départ attribuée à l'extrémité en question, on pénalise les nœuds expansés dans une direction de recherche autre que la direction "principale".

Nous avons choisi une fonction pénalité à décroissance rapide (exponentielle) $C'(x_n)$ qui est ajoutée au coût défini plus haut :

$$C'(x_n) = K_0 \left(1 - \exp - \frac{|\varphi_n| - |\varphi_0|}{n} \right)$$

où φ_0 est la direction de départ, φ_n est la direction du vecteur $\overrightarrow{A(x_0)B(x_n)}$.

Cette fonction n'intervient qu'au début du parcours direct, et décroît rapidement vers zéro, puisqu'elle est fonction de la longueur du trajet. Au delà d'une distance de quelques pixels du trajet, ce terme de surcoût n'influe plus sur le coût total.

2. Recherche du trajet inverse

Parmi les contours trouvés à l'aide du seul critère précédent, des structures parasites apparaissent (par exemple le bord d'un champ). Pour résoudre ce problème, nous proposons de rechercher un trajet inverse d'un trajet direct, dans la mesure où une structure est repérée par ses deux bords, qui représentent la frontière entre deux textures différentes, celle de la structure et celle du voisinage.

Un lancer de l'algorithme pour une structure dans un sens, donne le trajet direct correspondant à un bord. Un lancer de l'algorithme au voisinage du point d'arrêt précédent, dans une direction de parcours inverse, donne le trajet inverse relatif au second bord. La recherche du trajet inverse se fait dans un couloir de recherche défini par le trajet direct, évitant l'expansion des nœuds sur les bords et les débordements de recherches.

3. Critères de validation

Les trajets direct et inverse sont retenus à la fin de la recherche si les conditions suivantes sont vérifiées :

- le point d'arrivée du trajet inverse est à trois pixels près du point de départ du trajet direct
- le nombre de points d'intersection de deux trajets est inférieur à un seuil donné (dans le cas où le trajet direct est résultat d'une fausse détection, le trajet inverse coïncide sur une portion du trajet).
- Critère de décision basé sur les valeurs de performance du trajet direct et inverse. On pourra juger la qualité de la recherche par ce qu'on appelle "pénétrance" P [1], qui détermine le taux de diffusion lors de l'expansion définie comme suit :

$$P = L/T$$

L : longueur du chemin

T : nombre total de nœuds expansés durant la recherche

IV.4) Application

Les résultats sont illustrés par les figures suivantes :

- image originale (Figure 5)
- esquisse du réseau avec extrémités de départ (Figure 7a, temps CPU = 7 minutes)
- résultat du suivi automatique (Figure 7b, temps CPU=13 minutes)
- superposition du réseau final avec l'original (Figure 7c)
- superposition du réseau final squelettisée avec l'original (Figure 7d)

On note sur la figure 7b les contours parallèles relatifs au trajet direct et inverse de chaque partie manquante, montrant l'efficacité d'une telle démarche à la distinction des vraies structures recherchées. Les tronçons non validés lors du premier passage pourront être récupérés par ajustement de paramètres et un deuxième passage de l'algorithme sur l'image résultat de la première itération.

Les résultats obtenus sont encourageants et mettent en évidence la capacité de l'algorithme pour la détection et le suivi des structures mal identifiées par un extracteur de contour.

V - CONCLUSION

On a présenté une méthode d'extraction des réseaux de communication dans les images du satellite SPOT. Elle ne nécessite que peu de connaissance a priori sur l'image et donne des résultats intéressants, quoiqu'incomplets dans sa mise en œuvre automatique. Elle peut constituer un outil important d'un système plus général prenant en compte une base de connaissance et s'appuyant sur une analyse complémentaire, par régions, de l'image. Des travaux récents [9,10] vont dans ce sens.

Références

- [1] J. NILSSON : "Problem solving in artificial intelligence", Mc Graw Hill, New York, 1971.
- [2] A. MARTELLI : "An application of heuristic search methods to edge and contour detection", Communications ACM, Vol 19, N°2, pp. 73-83, Fév 1976
- [3] M. BERTHOD, F. BRETAUDEAU, C. ROY : "Extraction automatique d'informations structurelles à partir des données SPOT - Premiers résultats", Mari 87, Cognitiva, Cesta, pp. 243-248, Paris 18-20 Mai 87.
- [4] M. SERENDERO, M. BERTHOD : "Extraction des réseaux fins par suivi directionnel de lignes de crêtes et de vallées", Colloque SPOT 1, pp. 1403-1412, Paris, Nov. 87.
- [5] I. DESTIVAL : "Morphologie mathématique appliquée aux images des satellites de télédétection", CESTA, pp. 21-25, NICE, Avril 1986.
- [6] I. HERLIN, C. GRAFFIGNE : "Extraction de réseaux sur les images du satellite SPOT", Journées scientifiques L'Intelligence des Images, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne, Déc 1988.
- [7] R.O.DUDA, P.E. HART : "Pattern classification and scene analysis", Wiley, New York, 1973.
- [8] J. SERRA : "Image analysis and mathematical morphology", Academic Press, 1982.
- [9] J.VAN CLEYNENBREUGEL, C.SMETS, P.SUETENS, A.OOSTERLINCK : " Knowledge-based road network delineation on SPOT images", Proc of EUSIPCO, Grenoble(France), pp. 1075-1077, Sept 1988.
- [10] F.WANG, R. NEWKIRK : "A knowledge-based system for highway extraction", IEEE tr. Geoscience and Remote Sensing, Vol.26, N°5, pp 525-531, Sept.1988.



Figure 5. Image originale

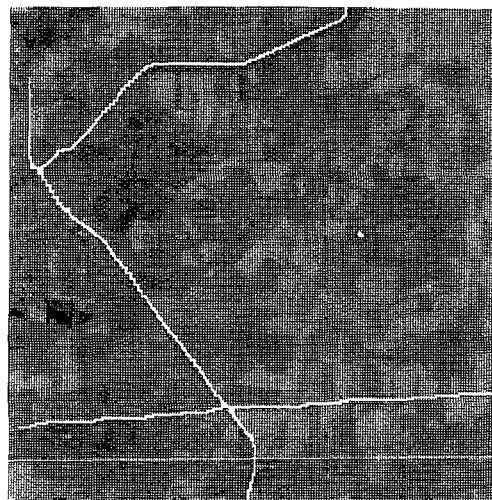


Figure 6. Réseau extrait par approche semi-automatique superposé à l'original

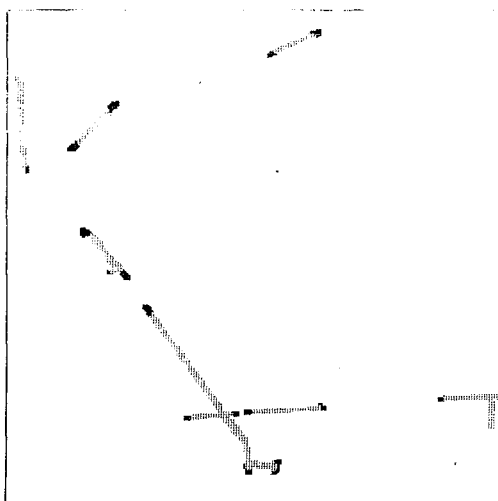


Figure 7a. Image des contours avec les masques d'extrémités

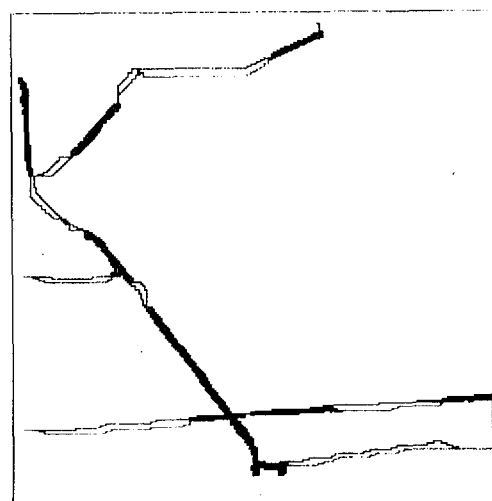


Figure 7b. Résultat du suivi automatique

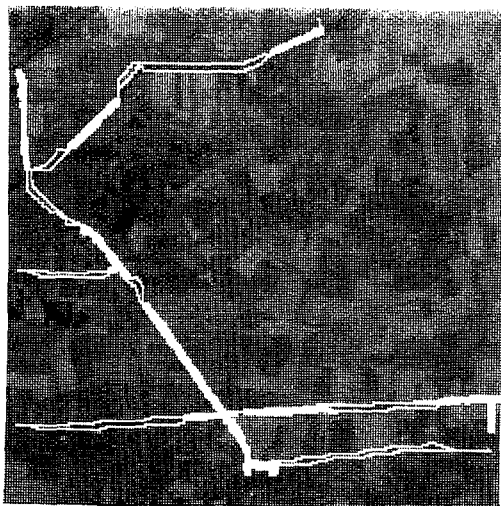


Figure 7c. Réseau final extrait par approche automatique superposé à l'original

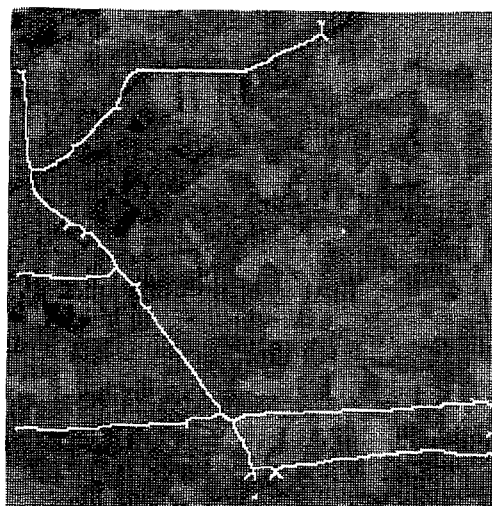


Figure 7d. Réseau final squelettisée extrait par approche automatique superposé à l'original