LES APPROCHES DE SEGMENTATION D'IMAGE PAR COOPÉRATION RÉGIONS-CONTOURS

Imane SEBARI et Dong-Chen HE

Centre d'applications et de recherches en télédétection (CARTEL), Département de géomatique appliquée, Université de Sherbrooke, 2500, boulevard de l'Université, Sherbrooke (Québec), Canada J1K 2R1
Téléphone : +001 819 821 8000 poste 62299 ; télécopieur : +001 819 821 7944 ;
courriel : imane.sebari@gmail.com ; dong-chen.he@usherbrooke.ca

Soumis le 21 novembre 2006 ; révisé le 5 mars 2007 ; accepté le 10 avril 2007- © *Revue Télédétection*, 2007, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 499-506

Résumé

La segmentation par coopération régions-contours suscite un grand intérêt ces dernières années. Elle consiste en une coopération entre la segmentation par régions et la segmentation par contours. Elle exploite les avantages de ces deux types de segmentation pour aboutir à un résultat de segmentation plus précis et plus fidèle que celui obtenu à l'aide d'une seule technique. L'intégration de ces deux types de segmentation peut être réalisée à différents niveaux. Ainsi, nous présentons ici les approches de segmentation coopérative régions-contours en trois classes : coopération séquentielle, coopération des résultats et coopération mutuelle. Chacune de ces approches est décrite, tout en présentant des formes possibles de coopération. Un exemple de segmentation par coopération régions-contours est donné en guise d'illustration. La comparaison avec le résultat de segmentation par croissance de région montre l'avantage d'adopter une telle coopération.

Mots clés : segmentation d'image, coopération régions-contours.

REGION-EDGE COOPERATIVE APPROACHES FOR IMAGE SEGMENTATION

Abstract

Over recent years, there has been growing interest in the use of the cooperative approach in image segmentation. The cooperative region-edge segmentation can be expressed as the integration of region segmentation and edge segmentation. This integration aims to improve the results by taking into account the complementary nature of both edge and region information. The cooperation between these two types of segmentation can be achieved at different levels and according to different forms. We present here cooperative region-edge segmentation approaches according to three classes : sequential cooperation, results cooperation and mutual cooperation. For each of these approaches, we present a description and possible forms of cooperation. An example of cooperative region-edge segmentation is provided for illustration purposes. The comparison with the result of region growing segmentation shows the advantage of adopting such a cooperation.

Keywords : image segmentation, region-edge cooperation.

1. INTRODUCTION

La segmentation joue un rôle prépondérant dans le traitement d'image. Elle est réalisée avant les étapes d'analyse et de prise de décision dans plusieurs processus d'analyse d'image, tel que la détection des objets. Elle aide à localiser et à délimiter les entités présentes dans l'image. Plusieurs techniques de segmentation existent (Pal et Pal, 1993) et deux grandes catégories de segmentation peuvent se distinguer : la segmentation par régions et la segmentation par contours.

Dans la première catégorie, l'image est segmentée en régions. Les pixels adjacents similaires selon un certain critère d'homogénéité sont regroupés en régions distinctes. La croissance par région et la division-fusion sont des techniques courantes de cette catégorie (Plataniotis et Venetsanopoulos, 2000). Toutefois, les régions obtenues ne correspondent pas, dans tous les cas, aux objets représentés dans l'image. Les limites des régions obtenues sont habituellement

imprécises et ne coïncident pas exactement aux limites des objets de l'image (Kermad et Chehdi, 2002). Un autre problème relatif à cette catégorie de segmentation réside dans la difficulté d'identifier les critères pour agréger les pixels ou pour fusionner et diviser les régions (Bellet *et al.*, 1995).

Quant à la segmentation par contours, elle permet de détecter les transitions entre les régions de l'image (Gonzalez et Woods, 2002). Les détecteurs de contours utilisés peuvent être simples, comme les opérateurs de Sobel ou de Roberts, ou plus complexes tel que l'opérateur de Canny. Les résultats de cette segmentation sont les candidats des limites des objets de l'image. Toutefois, ils peuvent présenter de fausses détections et ils ne sont généralement pas fermés (Pal et Pal, 1993).

Plusieurs chercheurs s'accordent pour affirmer que la coopération entre les segmentations par régions et par contours contribue à une meilleure prise en compte des caractéristiques des entités de l'image et, par conséquent, à une meilleure segmentation (Bertolino et Montanvert, 1996). En effet, les algorithmes combinant les techniques de segmentation basées sur les régions et celles basées sur les contours prennent avantage de la nature complémentaire de l'information sur la région et sur le contour (Zhang, 2006). Ainsi, une segmentation par coopération régions-contours peut être exprimée comme une entraide entre ces deux concepts afin d'améliorer le résultat final de segmentation. Des exemples de coopération régions-contours sont fournis dans (Cufi *et al.*, 2001; Muñoz *et al.*, 2003 ; Plataniotis et Venetsanopoulos, 2000).

Dans la littérature, l'utilisation de la coopération entre les régions et les contours pour la segmentation d'image diffère d'un auteur à un autre. D'une part, cette différence se manifeste dans l'étape où l'intégration entre l'information sur les régions et celle sur les contours est réalisée. D'autre part, elle apparaît dans la façon que cette intégration est produite. Ainsi, nous proposons d'étudier la segmentation d'images par coopération régions-contours en fonction de trois approches :

1) la coopération séquentielle : dans laquelle l'une des techniques de segmentation (région ou contour) est réalisée en premier lieu ; son résultat va être exploité par l'autre technique pour renforcer la définition des critères ou des paramètres de la segmentation ;

2) la coopération des résultats : les deux types de segmentation seront réalisés indépendamment ; la coopération concernera leurs résultats qui seront intégrés afin d'atteindre une meilleure segmentation ;

3) la coopération mutuelle : les deux types de segmentations coopéreront mutuellement au cours de leur processus d'exécution.

Pour ces trois approches de segmentation coopérative régions-contours, nous donnons le principe de coopération ainsi que certaines formes possibles d'intégration entre l'information sur les régions et sur les contours. Nous illustrons par la suite cette présentation par un exemple de segmentation d'image satellitaire à très haute résolution spatiale par coopération régions-contours. Enfin, nous réalisons une comparaison avec une segmentation par croissance de région.

2. COOPÉRATION SÉQUENTIELLE

2.1. Principe

Le principe général de la coopération séquentielle est que l'une des techniques, par régions ou par contours, est réalisée en premier lieu. Son résultat sera par la suite exploité par l'autre technique. L'intégration de l'information provenant de la segmentation par contours dans une segmentation par régions est l'une des formes de coopération les plus courantes (figure 1). Mais, l'information sur les régions peut aussi être intégrée dans une segmentation par contours. Nous allons donc présenter certaines formes de coopération séquentielle.

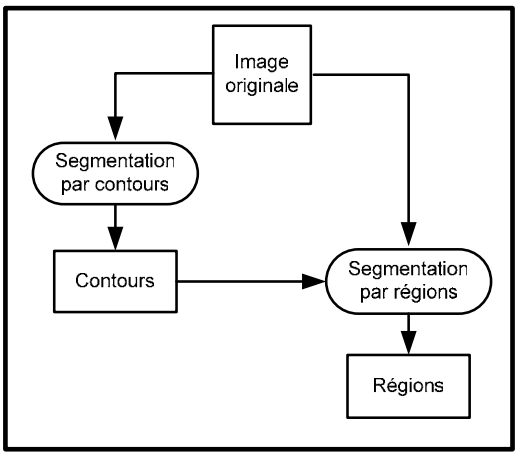


Figure 1 : Principe de la coopération séquentielle. *Principle of sequential cooperation.*

2.2. Formes de coopération séquentielle

La coopération séquentielle peut se manifester dans la définition ou l'ajustement des paramètres de segmentation. L'information fournie par cette forme de coopération permet aussi d'éliminer les faux segments et de gagner du temps de traitement.

2.2.1. Définition d'un critère additionnel de segmentation

Le cas le plus courant dans la coopération séquentielle est l'utilisation de l'information sur les contours pour la définition d'un critère additionnel dans une segmentation par régions (Bonnin *et al*., 1995 ; Monga et Wrobel, 1987 ; Mueller *et al*., 2004). Le principe est qu'une région ne doit pas contenir de pixels-contours. La présence des contours peut être signalée par l'information sur les gradients des pixels. Ainsi, la formation de la région est arrêtée quand elle rencontre un pixel à fort gradient, c'est-à-dire un contour. Seuls les pixels ayant un faible gradient sont ajoutés à la région. La coopération peut également s'effectuer sous la forme d'ajouts de pixels à la région jusqu'à ce qu'un maximum de gradient moyen calculé sur la région soit atteint (Gambotto, 1993). L'image contours peut aussi être intégrée pour forcer ou interdire des fusions entre les régions voisines (Bertolino et Montanvert, 1996).

2.2.2. Ajustement des paramètres de segmentation

L'information sur les contours peut aussi servir à ajuster les paramètres de segmentation par région. L'analyse d'échantillons de pixels (germes) de part et d'autre de chaque contour permettra de rendre le critère d'homogénéité plus adéquat par rapport aux caractéristiques des régions (Muñoz *et al*., 2000). Aussi, les résultats d'une segmentation par régions peuvent constituer les entrées d'un détecteur de contours. Par exemple, les limites obtenues par une segmentation par régions peuvent être considérées comme point de départ d'un détecteur de contours de type « snakes » (Pavlidis et Liow, 1990). Le contour initial est progressivement déformé, guidé par la minimisation d'une fonction d'énergie. Le détecteur de contours pourra ainsi localiser plus précisément les limites entre les régions.

2.2.3. Élimination des faux segments

La coopération entre régions-contours peut palier le problème de fausses détections obtenues par une technique de segmentation, et ce en éliminant les faux segments. Ce type de coopération repose sur l'idée qu'un contour sépare deux régions de caractéristiques différentes. Donc, l'analyse de l'information sur les régions de part et d'autre d'un contour peut servir, avec d'autres informations, à détecter les faux contours (Nazif et Levine, 1984). De même, l'information sur le contour peut renseigner sur la possibilité d'une fusion entre deux régions adjacentes similaires. L'exemple suivant illustre ce principe : les paramètres d'une détection de contours sont ajustés afin d'obtenir une image sur-segmentée. Cette dernière constitue le point de départ pour un processus de fusion entre les régions adjacentes selon leur degré d'homogénéité. Le résultat de cette fusion est utilisé pour éliminer les fausses détections de la segmentation par contours (Fjørtoft *et al*., 1997).

2.2.4. Placement des germes

L'information sur les contours peut être utilisée pour guider l'emplacement des germes de croissance de régions. En premier lieu, l'image des contours est obtenue par une ou plusieurs segmentations par contours. Ensuite, les centroïdes des régions entre ces contours sont pris comme germes initiaux pour une croissance de régions (Fan *et al*., 2001). Une autre utilisation est, qu'à partir des contours les plus fiables, les germes sont placés de part et d'autre de chaque contour (Fuertes *et al*., 2000 ; Muñoz *et al*., 2000).

2.2.5. Accélérer le temps de traitement

La segmentation par coopération séquentielle contribue aussi à gagner du temps de traitement. Par exemple, dans une segmentation par la technique de quadripartition (*quadtree*), lors du processus de division de l'image en quadrants homogènes, l'intégration de l'information sur les contours permet d'accélérer le découpage (Bonnin *et al.*, 1995). En effet, la présence de contours est une information sur la non homogénéité du quadrant. Par conséquent, l'intégration de l'information sur les contours permet d'accélérer le temps de traitement.

3. COOPÉRATION DES RÉSULTATS

3.1. Principe

Dans la coopération des résultats, les deux types de segmentations sont réalisés d'une façon parallèle et indépendante, et la coopération sera faite au niveau de leurs résultats respectifs (figure 2). Ils seront intégrés dans le but d'atteindre une meilleure segmentation que celle obtenue par une seule des techniques. Cette intégration peut être faite sous forme de complémentarité ou de recherche de consensus.

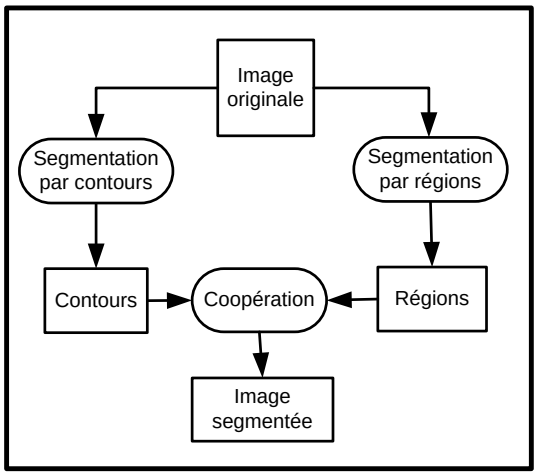


Figure 2 : Principe de la coopération des résultats. *Principle of results cooperation.*

3.2. Formes de coopération des résultats

Cette catégorie de coopération exploite les résultats de plusieurs segmentations afin d'aboutir à un meilleur résultat. Diverses formes de coopération se présentent : complémentarité ou consensus entre les segmentations, définition ou ajustement des paramètres de segmentation et évaluation des résultats de segmentation.

3.2.1. Complémentarité entre les segmentations

Les résultats des deux types de segmentation sont combinés pour obtenir une segmentation plus complète (Ito *et al.*, 1996). Un exemple de ce type de coopération est la combinaison entre les pixels-contours provenant d'une segmentation à l'aide d'un opérateur de gradient et les pixels des limites de régions obtenus à l'aide d'une croissance de région. Ces deux informations se complètent afin d'obtenir plus de contours détectés et d'assurer le raccordement entre les contours (Zugaj et Lattuati, 1998).

3.2.2. Consensus entre plusieurs segmentations

Le but de cette forme de coopération est d'établir un consensus entre les résultats de diverses segmentations. Un exemple de cette approche est proposé par Cho et Meer (1997). Les résultats de ces diverses segmentations permettent la construction d'un graphe d'adjacence entre les régions indiquant, pour chaque paire de pixels, la probabilité d'appartenance à la même région (probabilité de cooccurrence). Les couples de pixels ayant une grande probabilité de cooccurrence sont ensuite groupés ensemble. Le résultat est un ensemble de régions contiguës. La coopération peut se trouver dans le consensus entre les résultats de segmentation par régions et par contours obtenus de différentes bandes (visible, infrarouge, etc.). Chu et Aggarwal (1993) proposent un algorithme dans ce sens. Des pondérations sont attribuées à chaque segmentation en fonction de leur degré de fiabilité. Toutes les segmentations sont transformées en cartes contours. Une procédure itérative, utilisant un estimateur de maximum de vraisemblance, est appliquée afin de converger vers un consensus.

3.2.3. Ajout d'un critère additionnel aux résultats de segmentation

Les deux types de segmentation peuvent coopérer en ajoutant un critère additionnel aux résultats de segmentation obtenus. Le résultat de la segmentation par régions peut être amélioré, par exemple, en intégrant le résultat de la segmentation par contours (Saber et Tekalp, 1998). Les régions sont subdivisées suivant la carte de contours de sorte qu'aucune région ne contient de contours. Les régions subdivisées de mêmes caractéristiques sont par la suite fusionnées en exploitant les informations sur les régions et sur les contours.

3.2.4. Ajustement des paramètres de segmentation

La coopération peut contribuer à l'ajustement des paramètres de segmentation par comparaison des résultats de différentes techniques de segmentation. Cet ajustement peut être intégré dans un processus itératif (Kermad and Chehdi, 2002). Les itérations sont faites avec des critères de plus en plus tolérants jusqu'à la convergence vers des résultats cohérents et stables. La vérification de la cohérence est basée sur la minimisation de la dissimilarité entre les contours et les régions, jusqu'à la compatibilité entre les résultats contours et régions.

3.2.5. Évaluation des résultats de segmentation

La coopération peut contribuer aussi au problème de paramétrage des segmentations et d'absence ou de lacune d'informations de réalité de terrain (Cufi *et al*., 2001). Par exemple, plusieurs segmentations par régions avec différents paramètres et seuils sont réalisées. Pour juger de la meilleure segmentation, les résultats sont comparés à une segmentation par contours. La segmentation dont les limites de régions sont les plus proches des contours sera retenue.

4. COOPÉRATION MUTUELLE

4.1. Principe

Dans l'approche de coopération mutuelle, les différentes techniques de segmentation sont exécutées en parallèle, tout en échangeant mutuellement des informations (figure 3). L'information échangée sert à aider la technique de segmentation dans la prise de décision dans le cas de lacunes ou d'informations insuffisantes. La coopération permet de prendre des décisions plus sures et plus fiables.

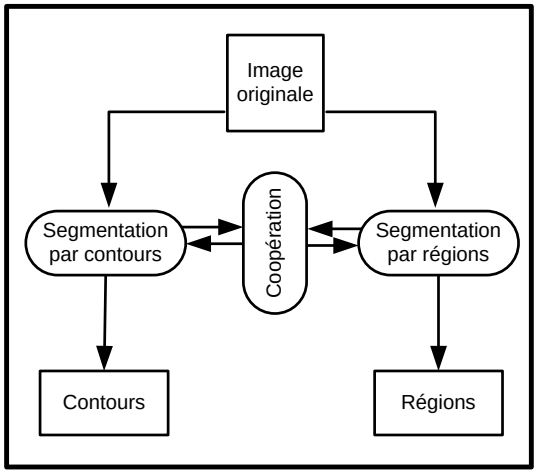


Figure 3 : Principe de la coopération mutuelle. *Principle of mutual cooperation*

4.2. Formes de coopération mutuelle

L'exemple suivant illustre bien la coopération mutuelle. C'est une coopération entre un détecteur de contours et un processus de croissance de régions (Salotti, 1994). Les contours sont détectés par un détecteur de contours basé sur les grandes valeurs de gradients. Dans les cas où il est difficile de trouver le fort gradient, l'analyse des régions de part et d'autre du contour donne une information additionnelle : un nouveau seuil adapté à cette partie de l'image à faibles valeurs du gradient est calculé. De même, dans la segmentation par croissance de régions, les pixels pour lesquels la décision d'agrégation est difficile à prendre sont étudiés par un détecteur de contours pour savoir si ce sont des contours ou non.

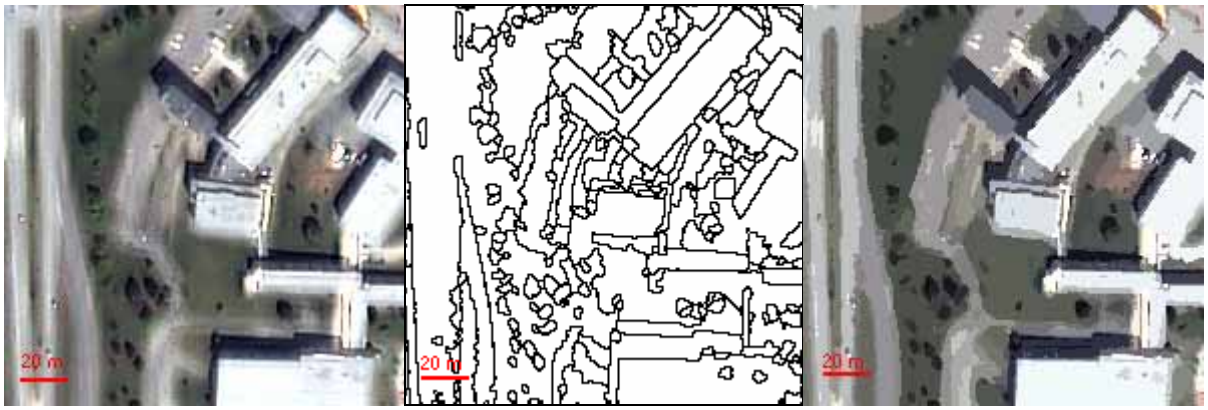
Dans une approche plus globale et qui fait appel à l'intelligence artificielle, la coopération peut se faire entre plusieurs techniques de segmentation (Bellet *et al.*, 1995). Elle est intégrée dans un processus de décision dans lequel les décisions difficiles sont mises en instance en attendant plus d'information. Ainsi, dans le cas où une technique de segmentation n'aboutit pas localement à une décision, le processus va recourir à une autre technique. Une fois la nouvelle information obtenue, elle est prise en compte par le processus pour prendre une décision et poursuivre la segmentation.

La segmentation par coopération mutuelle entre les régions et les contours peut être appliquée afin d'améliorer les résultats obtenus par des segmentations par régions et par contours (Nazif and Lévine, 1984). Un ensemble de règles est appliqué d'abord sur les régions et les contours détectés afin de les analyser et de définir des règles pour obtenir une segmentation plus fidèle. Ainsi, des règles liées au raccordement, à la suppression et à la prolongation des contours détectés sont définies en prenant en compte, entre autres, l'information sur les régions adjacentes. Aussi, les règles liées à la fusion ou à la division des régions détectées prennent en considération aussi la présence des contours.

5. EXEMPLE D'APPLICATION

5.1. Méthodologie adoptée

Dans l'exemple de segmentation d'image par coopération régions-contours présenté, l'image de travail est un extrait de l'image d'Ikonos de Sherbrooke acquise en mai 2001 (figure 4a). Le type de coopération adopté est la coopération séquentielle. Elle est la forme de coopération la plus courante. D'abord, une image des contours est obtenue à l'aide d'un détecteur de contours basé sur la différenciation des valeurs de l'image. L'information sur les contours est ensuite intégrée dans une segmentation par croissance de régions, et ce à deux niveaux : dans la sélection des germes et dans la définition du critère de segmentation. En effet, l'emplacement idéal d'un germe étant le centre d'une région, l'information sur la présence des contours est prise en compte pour éviter de choisir les germes aux bordures des régions. La coopération est aussi exploitée pour renforcer le critère de segmentation en utilisant les contours comme information additionnelle pour arrêter le processus de croissance de régions.



(a) **(b)** **(c)**

Figure 4 : Segmentation par coopération séquentielle. a) Extrait de l'image d'Ikonos de Sherbrooke de 2001 ; b) Résultat de la segmentation par contours ; c) Résultat de la segmentation par coopération séquentielle entre la segmentation par contours et celle par croissance de régions. *Sequential cooperative segmentation. a) Imagette of the Sherbrooke Ikonos image of Sherbrooke of 2001 ; b) Result of edge segmentation ; c) Result of the segmentation by cooperation between edge segmentation and region growing segmentation.*

6. DISCUSSION

Sur l'image 4c, on présente le résultat de segmentation de l'image 4a par une coopération régions-contours utilisant l'image de contours (figure 4b). Visuellement, la segmentation finale paraît respecter les objets de l'image. Afin de mieux juger de la qualité de ce résultat, une segmentation de la même image à l'aide de l'algorithme de croissance de régions a été réalisée, sans tenir en compte de l'information sur les contours. La comparaison des deux résultats montre bien que les objets sont mieux détectés. Les limites des régions sont plus précises et correspondent mieux aux contours réels des objets (figure 5). L'intégration de l'information sur les contours a permis de renforcer le critère de définition des régions. Il faut signaler que la qualité de la segmentation par coopération régions-contours dépend entre autres de la qualité de la détection des contours. Cette dernière peut ne pas contenir tous les contours de l'image ou bien elle peut contenir tellement de fausses limites que des contours qui peuvent ne pas être connexes. Étant donné que l'information sur les contours est utilisée dans les critères de segmentation, elle influence donc sur la segmentation finale.



Figure 5 : Comparaison entre une segmentation par coopération régions-contours (au centre) et celle par croissance de régions (image droite). Image originale (image gauche). *Comparison between the result of a region-edge cooperative segmentation (at the center) and the one by region growing segmentation (on the right). Original image (on the left).*

7. CONCLUSION

Dans cet article, on présente différentes approches de segmentation par coopération régions-contours. Qu'elle soit séquentielle, mutuelle ou bien des résultats, la segmentation coopérative intègre les deux types d'information (régions et contours) afin de permettre une meilleure prise en compte des caractéristiques des objets de l'image. Les zones homogènes, ainsi que les transitions entre elles, sont respectées simultanément. En comparaison avec une segmentation par régions ou par contours, le résultat de la segmentation coopérative est plus fidèle à la réalité de l'image.

La segmentation coopérative est une voie de recherche prometteuse. La segmentation d'image est considérée comme l'étape fondamentale de plusieurs processus d'analyse d'image dédiés à la détection ou l'identification des objets. L'adoption de la coopération entre les techniques de segmentation dans ces processus permettrait de renforcer la qualité et la fiabilité des analyses et des décisions envisageables.

Remerciements

Par cet article, nous voudrions rendre hommage à un pionnier de la télédétection francophone. En effet, le professeur Ferdinand Bonn se dévouait pour diffuser la télédétection dans le monde francophone. Nous espérons que notre article sur les approches de segmentation coopérative contribuera dans ce sens.

Références

Bellet, F., Salotti, M. et Garbay, C. (1995) Une approche opportuniste et coopérative pour la vision de bas niveau. Traitement du signal, vol. 12, n° 5, p. 479-494.

Bertolino, P. et Montanvert, A. (1996) Coopération régions contours multirésolution en segmentation d'image. P. 299-307, *in* Actes du 10e Congrès AFCET/Reconnaissance des formes et intelligence artificielle, Rennes, 16-18 janvier 1996, Association française pour la cybernétique économique et technique, Paris.

Bonnin, P., Hoeltzener-Douarin, B. and Pissaloux, E. (1995) A new way of image data fusion: the multi-spectral cooperative segmentation. P. 572-575, *in* Proceedings of the 1995 International Conference on Image Processing. Washington, 23-26 octobre 1995, IEEE Computer Society, Washington, D.C., 3572 p.

Cho, K. and Meer, P. (1997) Image Segmentation from Consensus Information. Computer Vision and Image Understanding, vol. 68, n° 1, p. 72-89.

Chu, C. and Aggarwal, J. (1993) The integration of image segmentation maps using region and edge information. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 15, n° 12, p. 1241-1252.

Cufi, X., Muñoz, X., Freixenet, J. and Marti, J. (2001) A Review on Image Segmentation Techniques Integrating Region and Boundary Information. P. 1-39, *in* P. W. Hawkes (réd.) Advances in Imaging and Electron Physics. Academic Press, San Diego, vol. 120, 344 p.

Fan, J., Yau, D.K.Y., Elmagarmid, A.K. and Aref, W.G. (2001) Automatic Image Segmentation by Integrating Color-Edge Extraction and Seeded Region Growing. IEEE Transactions on Image Processing, vol. 10, n° 10, p. 1454-1466.

Fjørtoft, R., Cabada, J., Lopès, A., Marthon, P. and Cubero-Castan, E. (1997) Complementary edge detection and region growing for SAR image segmentation. P. 70-72, *in* Conference of the Norwegian Society for Image Processing and Pattern Recognition. Tromsoe, 20-22 mai 1997, Norwegian Society for Image Processing and Pattern Recognition (NOBIM), Tromsoe (Norvège).

Fuertes, J.M., Lucena, M., Pérez De La Blanca, N., Fdez-Valdivia, J. and Guevara, M. (2000) Region Growth Based On Color Gradients. P. 1-11, *in* APRP - Associação Portuguesa de Reconhecimento de Padrões (réd) Proceedings of the 5th Iberoamerican Symposium on Pattern Recognition/ Simposio Ibero Americano de Reconocimiento de Patrones (SIARP). Lisbonne, 11-13 septembre 2000.

Gambotto, J.P. (1993) A new approach to combining region growing and edge detection. Pattern Recognition Letters, vol. 14, n° 11, p. 869-875.

Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. (2002) Digital Image Processing. 2e éd., Prentice Hall, ville?, 793 p.

Ito, N., Kamekura, R., Shimazu, Y., Yokoyama, T. and Matsushita, Y. (1996) The Combination of Edge Detection and Region Extraction in Nonparametric Color Image Segmentation. Information Sciences, vol. 92, p. 277-294.

Kermad, C.D. and Chehdi, K. (2002) Automatic image segmentation system through iterative edge–region co-operation. Image and Vision Computing, vol. 20, p. 541–555.

Monga, O. et Wrobel, B. (1987) Segmentation d'images : vers une méthodologie. Traitement du signal, vol. 4, n° 3, p. 169-193.

Mueller, M., Segl, K. and Kaufmann, H. (2004) Edge- and region-based segmentation technique for the extraction of large, man-made objects in high-resolution satellite imagery. Pattern Recognition, vol. 37, p. 1619-1628.

Muñoz, X., Cufí, X., J. Freixenet and Martí, J. (2000) A new approach to segmentation based on fusing circumscribed contours, region growing and clustering. P. 800-803, *in* Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing 2000 (ICIP'00). Vancouver, 10-13 septembre 2000, 1045 p.

Muñoz, X., Freixenet, J., Cufi, X. and Martì, J. (2003) Strategies for image segmentation combining region and boundary information. Pattern Recognition Letters, vol. 24, p. 375-392.

Nazif, A. M. and Levine, M. D. (1984) An Optimal Set of Image Segmentation Rules. Pattern Recognition Letters, vol. 2, p. 243-248.

Pal, N. R. and Pal, S. K. (1993) A review on image segmentation techniques. Pattern Recognition, vol. 26, n° 9, p. 1277-1294.

Pavlidis, T. and Liow, Y.T. (1990) Integrating Region Growing and Edge Detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 12, n° 3, p. 225-233.

Plataniotis, K.N. and Venetsanopoulos, A.N. (2000) Color image processing and applications. CRC Press, Springer-Verlag, Berlin, 355 p.

Saber, E. and Tekalp, A.M. (1998) Integration of color, edge, shape, and texture features for automatic region-based image annotation and retrieval. Journal of Electronic Imaging, vol. 7, n° 3, p. 684-700.

Salotti, J.M. (1994) Gestion des informations dans les premières étapes de la vision par ordinateur. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Grenoble, Grenoble, 204 p.

Zhang, Y. J. (2006) An Overview of Image and Video Segmentation in the Last 40 Years. P. 1-16, *in* Y.J. Zhang (réd.) Advances in Image and Video Segmentation. IRM Press, Hershey (Penn.), 457 p.

Zugaj, D. and Lattuati, V. (1998) A new approach of color images segmentation based on fusing region and edge segmentations outputs. Pattern Recognition, vol. 31, n° 2, p. 105-113.