

Une plate-forme multi-agent pour la segmentation d'images. Etude des stratégies de coopération contour-région.

Christine Porquet, Hakim Settache, Su Ruan, Marinette Revenu

► **To cite this version:**

Christine Porquet, Hakim Settache, Su Ruan, Marinette Revenu. Une plate-forme multi-agent pour la segmentation d'images. Etude des stratégies de coopération contour-région.. ORASIS'2003, 2003, Gérardmer, France. pp.413-422, 2003. <hal-00960253>

HAL Id: hal-00960253

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00960253>

Submitted on 17 Mar 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Une plate-forme multi-agent pour la segmentation d'images. Etude des stratégies de coopération contour-région

How to implement cooperative segmentation strategies within a multiagent framework

Christine PORQUET, Hakim SETTACHE, Su RUAN, Marinette REVENU

GREYC-ISMRA – Equipe Image - 6 Bd du Maréchal Juin - F14050 CAEN cedex FRANCE

tél: +33 (0)2-31-45-27-21

fax: +33 (0)2-31-45-26-98

courriel: Christine.Porquet@greyc.ismra.fr

Résumé

Nous proposons une plate-forme permettant au traiteur d'images d'étudier les différentes manières de mettre en œuvre une coopération contour-région. Nous avons choisi une approche multi-agent : les régions et les contours sont des agents situés qui coopèrent et négocient pour optimiser la segmentation de l'image. Les stratégies de coopération/négociation sont implémentées sous forme d'automates appliquant divers critères de segmentation. Le domaine d'expérimentation retenu est celui des IRM cérébrales.

Mots Clés

Segmentation d'images, approche multi-agent, coopération contour-région, plate-forme d'expérimentation des stratégies de segmentation

Abstract

In this paper, a multiagent framework dedicated to image segmentation is described. Within such a framework, users can study and try various ways to implement cooperative segmentation strategies: regions and lines are defined as situated agents that cooperate and negotiate in order to improve the overall image segmentation. Cooperation/negotiation strategies are implemented as automatas that can apply several segmentation criteria. Our approach is validated on 2D cerebral MRI.

Keywords

Image segmentation, multiagent approach, region-line cooperation, framework for studying segmentation strategies.

1. Introduction

Malgré une multiplicité d'approches, la segmentation d'images reste un problème ouvert. Bien rares sont les systèmes qui instaurent une véritable coopération entre les classiques approches « contour » et « région », or c'est en général ce type de coopération qui permet

d'obtenir des résultats significativement meilleurs [12]. Et il est encore plus rare que l'on reconsidère a posteriori les résultats obtenus dans des zones particulières de l'image, en mettant en œuvre localement des stratégies plus sophistiquées en exploitant des connaissances a priori sur des zones de l'image.

L'objectif est de concevoir une plate-forme multi-agent facilitant l'expérimentation des stratégies de segmentation. D'une part, plusieurs catégories d'agents doivent pouvoir cohabiter et coopérer, depuis des agents réactifs relativement simples chargés d'obtenir une segmentation préliminaire jusqu'à des agents cognitifs spécialisés dans la détection de tumeurs par exemple. D'autre part, il doit être possible de mener des expérimentations sur les diverses manières de contrôler le déroulement de la segmentation. Pour ce faire, il faut non seulement définir ces divers modes de contrôle de manière déclarative, mais offrir suffisamment de souplesse au traiteur d'images pour qu'il puisse choisir et paramétrer la manière dont il souhaite voir la segmentation se dérouler.

Le plan de l'article est le suivant : la section 2, passe en revue les systèmes qui traitent de la coopération contour-région, et plus particulièrement ceux qui s'appuient sur une architecture multi-agent. La section 3 détaille nos objectifs et les spécifications de la plate-forme. La section 4 en décrit les choix techniques et détaille différentes stratégies de coopération contour-région pouvant être appliquée lors d'opérations de fusion/division de régions et de prolongement/raccordement de contours. Dans la section 5, nous décrivons la démarche que nous avons suivie pour intégrer progressivement certaines de ces stratégies et montrons les résultats obtenus sur des images synthétiques et des IRM cérébrales. Enfin, dans la dernière section, nous dressons un premier bilan de ce travail et décrivons la manière dont nous comptons enrichir cette plate-forme.

2. Etat de l'art

2.1 Systèmes multi-agents

Les systèmes multi-agents (SMA) trouvent actuellement des applications dans les domaines les plus divers. L'approche est en effet tentante, même si on n'en évalue pas encore bien tous les avantages et les inconvénients [10].

De très nombreuses plate-formes généralistes sont proposées, MadKit par exemple [8] [9], qui permet de définir à peu près tout ce qu'on peut imaginer : agents réactifs, cognitifs, diverses catégories d'envois de messages et de protocoles d'appel d'offres, distribution des agents sur des machines distantes, attribution dynamique de rôle, changement dynamique de groupe,...

2.2 Approches coopératives en segmentation d'images

L'instauration d'une coopération contour-région pour optimiser la segmentation n'est pas une préoccupation récente. Déjà, dans [13], sont proposées des règles de fusion ou de division de régions, de prolongement ou de raccordement de contours. Il s'agit alors d'un véritable système expert de segmentation d'ordre un ; la coopération s'exprime par l'intermédiaire des variables des règles de production, qui peuvent par exemple s'instancier avec des couples de régions à fusionner. Un mécanisme de focalisation de l'attention permet à tout instant, de considérer une région courante et un contour courant, sur lesquels on va tenter d'appliquer les règles de fusion, de division, de prolongement ou de raccordement.

Ces idées ont été reprises dans [1], en utilisant une architecture à base de tableau noir, pour pallier le manque d'efficacité des systèmes experts, où toutes les règles sont potentiellement en concurrence et tous les faits de la base de faits sont « à plat ». Les règles de fusion, division, prolongement, raccordement y prennent alors la forme de sources de connaissances.

Dans [2] et [3], la segmentation est essentiellement considérée comme un processus de croissance de régions dans lequel il s'agit de faire un usage judicieux et opportun de l'information contour. Dans [2], il n'est pas encore question d'approche multi-agent à proprement parler, mais on n'en est pas loin.

On trouvera dans [12] un état de l'art approfondi sur les stratégies de coopération contour-région ; les auteurs proposent de faire la distinction entre les approches intégrées, dans lesquelles les informations région et contour sont exploitées simultanément, et les approches par post-traitement pour lesquelles l'information contour est utilisée a posteriori pour corriger les erreurs de segmentation sur les régions. Par ailleurs y sont mis en exergue deux points durs sur lesquels il convient de faire porter l'effort de recherche : la nécessité d'exploiter la texture, en sus des informations région et

contour, et l'absence de cadre méthodologique et, a fortiori, d'outil pour évaluer la qualité d'une segmentation et comparer des méthodes.

2.3 Approches multi-agent en segmentation d'images

Il existe de multiples manières d'envisager la coopération dans les approches multi-agents. Dans [7], C. Garbay propose d'en distinguer trois formes : la coopération *confrontative* qui met l'accent sur la fusion de résultats obtenus par des agents travaillant sur les mêmes données, la coopération *augmentative* dans laquelle les agents travaillent sur des sous-ensembles disjoints de données, et la coopération *intégrative* qui décompose une tâche en sous-tâches, chacune étant accomplie par un agent de spécialité différente.

Dans [4], les agents du système sont spécialisés dans la segmentation et l'interprétation d'images cytologiques ; outre la mise en œuvre d'une coopération contour-région, un des aspects les plus intéressants concerne le traitement de séquences d'images et la manière de lancer des agents dans l'image suivante de la séquence, en fonction de ce qui est en train de se dérouler dans l'image courante.

Dans [11], la segmentation d'image est abordée sous l'angle des algorithmes génétiques : il s'agit de générer la population d'agents de segmentation la mieux adaptée à la distribution de points rencontrés dans l'image. Les agents sont dotés de deux types de comportement : la diffusion et la reproduction de manière à s'adapter au mieux aux variations locales de l'image. Ces idées sont reprises par A. Bureau [5], qui propose de combiner une approche par croissance de régions dans les zones faciles à segmenter et l'approche génétique dans les zones plus délicates. La coopération consiste ici à choisir automatiquement, en fonction de critères d'homogénéité locaux, laquelle des deux méthodes l'agent va appliquer.

Toujours dans le domaine de la segmentation d'images, E. Duchesnay [6] s'appuie sur la structure de pyramide irrégulière pour gérer le processus d'agrégation de régions et assurer la convergence de la segmentation ; une coopération région-région assez sophistiquée est mise en œuvre, mais qui ne tire pas suffisamment parti de l'information contour.

Dans [15] et [16], des agents situés coopèrent pour segmenter des IRM cérébrales. On y trouve diverses catégories d'agents : un agent de contrôle global, des agents de contrôle locaux et au niveau le plus bas, les agents de segmentation, spécialisés dans la détection des trois types de tissus cérébraux (matière blanche, matière grise et liquide céphalo-rachidien). Un processus de négociation entre régions dans les zones litigieuses est évoqué dans les perspectives, sans toutefois que de solution soit apportée.

Comme nous venons de le voir, la coopération des agents peut prendre des formes très variées, mais dans les systèmes présentés, il n'existe en général qu'un seul

mode de coopération. Nous pensons qu'il est indispensable d'exploiter simultanément diverses stratégies de coopération et de négociation et nous proposons une plate-forme pour en faciliter l'étude et l'expérimentation.

3. Spécifications

3.1. Pourquoi une plate-forme d'expérimentation ?

Nous voulons proposer une plate-forme d'expérimentation pour les raisons suivantes :

- Il est difficile, voire impossible de transformer un programme « classique » de segmentation sans coopération contour-région en un programme avec coopération. La structure même du programme est entièrement à revoir.
- Il existe de multiples façons d'envisager la coopération contour-région. Le terme de « coopération contour-région » a pour nous la signification suivante : on utilise des informations sur les contours pour autoriser ou non la fusion de deux régions ou la division d'une région ; réciproquement, on utilise des informations sur les régions pour autoriser ou non la fusion de deux contours ou le prolongement d'un contour. Par abus de langage, on parlera également de coopération contour-région quand deux régions coopèrent pour fusionner (il s'agit à proprement parler de coopération région-région) ou quand deux contours coopèrent pour se raccorder (il s'agit à proprement parler de coopération contour-contour). Dans tous les cas, il y a de multiples critères possibles (par exemple, écart des niveaux de gris entre deux régions, pourcentage de points de contours à la frontière de deux régions,...) et de multiples manières de les combiner.
- Dans les zones de l'image où la segmentation est délicate, nous voulons instaurer une négociation entre deux régions, pour envisager une éventuelle réaffectation des pixels frontières des deux régions, comme évoqué dans [15]. De même que pour la coopération, les critères et la manière de mener la négociation sont nombreux et doivent être expérimentés.
- Le traiteur d'images doit disposer d'outils pour juger de la manière dont la segmentation évolue, il doit pouvoir lancer la segmentation en mode « pas à pas » et observer ce qui se passe dans les zones délicates, faire un « zoom » sur une région ou un contour particulier et le voisinage de cette région ou ce contour, obtenir toutes les informations sur cette région ou ce contour, modifier les paramètres de segmentation.

3.2 Pourquoi une architecture multi-agent ?

Nous avons opté pour une architecture multi-agent car les agents fournissent un cadre « naturel » pour l'expression de la coopération et de la négociation. Les SMA permettent de faire cohabiter des agents de toutes natures, depuis des agents réactifs très primitifs jusqu'à des agents cognitifs évolués, et de les faire évoluer en

parallèle. Dans le contexte de la segmentation d'images, le parallélisme permet d'envisager de réaliser la fusion simultanée de couples de régions voisines quelle que soit leur position dans l'image, et quels que soient les critères de candidature à la fusion utilisés.

Lors des premiers essais, nous avons utilisé la plate-forme MadKit [8] [9] qui est facile à prendre en main et offre de nombreuses classes d'agents prédéfinies ou adaptables pour réaliser des interfaces d'observation ou définir divers protocoles de communication entre agents. Mais, pour segmenter une image, si on veut que toute région et tout contour de l'image soit défini sous forme d'agent, il faut être capable d'en gérer un nombre très élevé (plus de 10000 agents), ce que MadKit ne supporte pas. Par ailleurs, les envois de message y sont très lents.

Nous avons donc entièrement redéfini notre propre plate-forme SMA en JAVA, en reprenant essentiellement de MadKit la définition du comportement des agents sous forme d'automate, de manière à conserver le maximum de déclarativité dans l'expression des critères de segmentation

4. Implémentation

4.1 Vue globale de la plate-forme

La plate-forme permet d'enchaîner les étapes de pré-segmentation et de segmentation proprement dite. La pré-segmentation initiale est réalisée par des opérateurs de la bibliothèque Pandore [14]. Comme dans [13], l'objectif est d'obtenir une segmentation initiale, même imparfaite, que le SMA tentera d'améliorer par des opérations de fusion/division de régions et de prolongement/raccordement de contours. On procède, de manière indépendante, à une segmentation en régions (algorithme des quadrees, par exemple) et à une extraction de chaîne de contours (filtre de Deriche, puis chaînage des contours, par exemple).

En entrée au système multi-agent sont donc fournies deux images, une carte des régions et une carte des contours, à partir desquelles sont lancés des agents régions et contours chargés d'améliorer la segmentation.

4.2 Les agents de segmentation

Pour la gestion de la coopération et de la négociation, nous avons choisi de distinguer deux catégories de messages, les propositions et les ordres. Une proposition consiste par exemple pour une région à proposer à une de ses voisines de fusionner avec elle et va permettre d'engager un processus de négociation. Au contraire, un ordre est exécutoire et permet de réaliser toutes les mises à jour nécessaires après la fusion de deux régions par exemple. Pour simplifier et accélérer les traitements, un agent dispose de deux boîtes aux lettres, l'une pour les propositions, l'autre pour les ordres. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'associer des priorités plus ou moins élevées aux diverses catégories de messages et le nombre de messages dans chaque boîte aux lettres est plus faible.

Le comportement d'un agent est défini sous forme d'un *automate*, comme dans [6], ce qui présente un double intérêt : d'un part, l'automate permet d'avoir une vue d'ensemble du comportement d'un agent ; d'autre part, les états et les transitions sont clairement définis et peuvent plus facilement être modifiés. Par exemple, le critère de fusion entre deux régions est défini comme une transition de l'automate ; on peut ainsi changer aisément de critère .

Chaque agent région détient les informations suivantes : rectangle englobant, liste des pixels, somme des niveaux de gris et somme des carrés des niveaux de gris, surface, liste des régions voisines, liste des points de frontière intérieure avec chacune des régions voisines. Toutes ces informations peuvent être mises à jour directement (sans avoir à accéder à l'image) lors de la fusion de deux régions.

Pour mettre en œuvre la fusion de deux régions, chaque agent région connaît son « meilleur voisin », c'est-à-dire la région voisine avec laquelle il a le plus fort désir de fusion. Pour qu'une fusion ait lieu, le désir de fusion doit être réciproque : si R1 et R2 désignent le couple de région candidates à la fusion, le meilleur voisin de R1 doit être R2 et le meilleur voisin de R2 doit être R1. En définissant le désir mutuel de cette manière, on n'a pas besoin d'introduire de seuil de décision puisque on se base sur un superlatif (« le meilleur ») et non pas un comparatif (« meilleur que »).

Chaque agent contour, quant à lui, détient les informations suivantes : rectangle englobant, liste des pixels, valeurs minimum, maximum et moyenne du gradient, liste des régions voisines.

4.3 Protocoles de coopération

Nous proposons d'étudier et mettre en œuvre divers types de coopération :

- Coopération région-région pour la fusion de régions : il doit exister un désir mutuel de fusion entre les deux régions pour que la fusion soit autorisée.
- Coopération contour-région pour la fusion de régions : il ne doit pas exister de contour entre les deux régions qui souhaitent fusionner. L'agent contour dispose ainsi d'un droit de veto : il peut s'opposer à une fusion.
- Coopération contour-région pour la division de région : un contour qui traverse une région peut inciter cette région à se diviser.
- Coopération contour-contour pour le raccordement de contours : il doit exister un désir mutuel de raccordement entre deux contours proches pour que le raccordement soit autorisé.
- Coopération région-contour pour le raccordement de contours : une région traversée par plusieurs contours peut les inciter à se raccorder. C'est la région qui initie le processus car elle connaît les contours qui la traversent, alors que les contours, eux, ne savent pas s'ils sont suffisamment proches les uns des autres pour envisager un raccordement.

- Coopération région-contour pour le prolongement de contours : on peut prolonger un contour à condition que les régions voisines ne s'y opposent pas. Par exemple, si le contour suit un morceau de la frontière entre deux régions, on pourra le prolonger le long de cette frontière.

La figure 1 illustre les interactions entre des agents régions et des agents contours qui coopèrent, ainsi que les interactions de ces agents avec l'environnement via une boucle de perception-action.

4.4 Les interfaces

Dans une plate-forme d'expérimentation, les interfaces jouent un rôle capital. Nous montrons ici deux fenêtres qui aident le traiteur d'image à observer ce qui se passe lors de la coopération contour-région. La fenêtre de figure 2-a fournit toutes les informations sur l'agent région numéro 13586. Cette région est arbitrairement colorée en vert sur la carte des régions. Dans la fenêtre de la figure 2-b, on peut visualiser cette région verte en gros plan, avec les points de sa frontière intérieure avec chaque région voisine qui sont colorés avec la couleur de la région voisine (jaune, violet, bleu). Enfin, l'information contour issue de la carte des contours apparaît en noir, ce qui permet d'observer les contours qui traversent complètement ou partiellement la région verte (cf. § 5.3 - Coopération contour-région pour la division de région).

5. Expérimentation

5.1 Démarche suivie

En réalisant cette plate-forme d'expérimentation, un de nos objectifs était de démontrer qu'il était possible, en un temps de développement court, de mettre en œuvre des stratégies de coopération contour-région, et en particulier, de réaliser *simultanément* des opérations de fusion et de division de régions exploitant l'information contour. Les stratégies de coopération contour-région et les critères utilisés ne sont pas originaux, mais l'approche multi-agent adoptée a facilité l'intégration progressive des stratégies et permis d'essayer divers critères.

5.2 Domaine d'expérimentation

Nous avons choisi comme domaine d'application privilégié celui des IRM cérébrales. Ces images sont difficiles à segmenter, même pour un expert humain. En raison des faibles contrastes, des intensités des niveaux de gris non uniformes au sein d'un même tissu et de l'effet de volume partiel, les interfaces entre tissus (matière blanche, matière grise, liquide céphalo-rachidien) sont des zones où une stratégie de négociation de pixels peut contribuer à améliorer notablement la segmentation. A plus long terme, nous voulons étendre notre plate-forme à la détection de tumeurs et à l'interprétation de structures anatomiques, ce qui permet de soulever des problèmes de fusion de données et de coopération à plus haut niveau ; on peut utiliser diverses modalités (T1, T2, ρ) ainsi qu'un atlas anatomique.

Enfin, nous voulons confronter nos résultats à d'autres approches étudiées dans l'équipe [17], et à d'autres

approches multi-agents [5] [16].

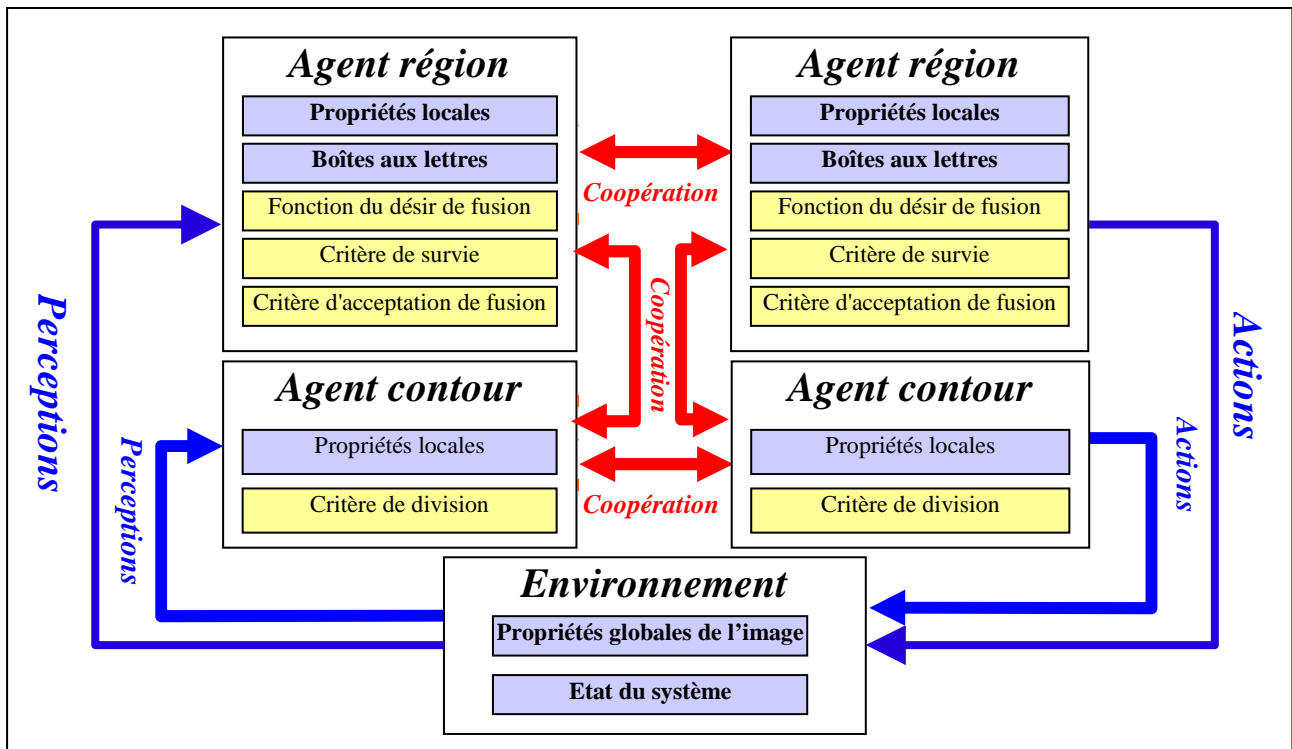
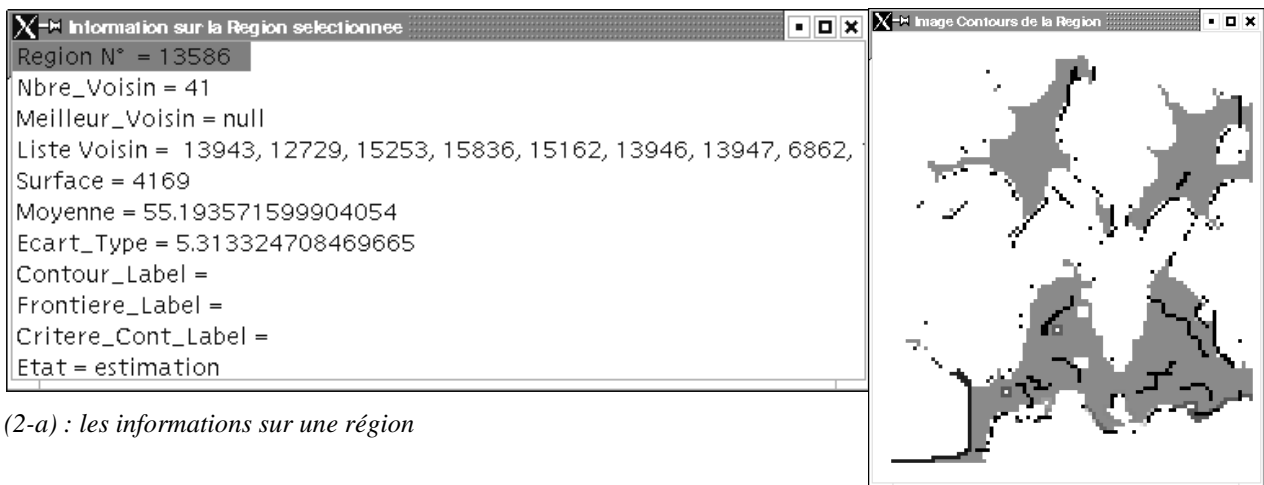


Figure 1 : Boucle de perception-action des agents avec l'environnement et interactions entre des agents régions et contours qui coopèrent –



(2-a) : les informations sur une région

(2-b) : visualisation de la région, de ses frontières et des contours

- Figure 2 : les interfaces de visualisation des informations sur les régions et les contours -

5.3 Stratégies opérationnelles

Dans ce paragraphe, nous détaillons, dans l'ordre de leur mise en œuvre progressive, les trois stratégies de coopération actuellement implémentées.

Coopération région-région pour la fusion de régions :

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à la fusion de deux régions, sans nous préoccuper d'exploiter l'information contour. Pour cela, nous avons développé un automate de comportement des agents

régions et testé uniquement la coopération région-région basée sur le désir mutuel de fusion entre deux régions R1 et R2 pour qu'elles fusionnent.

Les 3 fonctions de cet automate sont :

- *une estimation du désir de fusion* : pour fusionner, deux régions voisines doivent avoir des propriétés similaires, par exemple des moyennes de niveaux de gris proches.
- *un critère d'acceptation de fusion* : la fusion est acceptée si le désir de fusion entre les deux régions est réciproque (cf. § 3.2).
- *un critère de survie* : il s'agit de décider lequel des deux agents régions va survivre à la fusion (par exemple celui présentant la plus grande surface). Il est à noter que ce critère n'a aucun impact sur les résultats de la segmentation, mais il est indispensable dans une approche multi-agent où toute région de l'image est un agent.

Coopération contour-région pour la fusion de régions :

Dans un deuxième temps, nous avons mis en œuvre la coopération contour-région pour la fusion de régions (cf. fig. 3), de manière à utiliser l'information de la carte des contours. Cette coopération a pu se faire simplement, *sans modifier l'automate des régions* ; les agents contours jouent un rôle purement passif et il n'est pas nécessaire à ce stade de les doter d'un automate de fonctionnement. Seul est modifié le critère d'acceptation de fusion.

Ce critère prend maintenant en compte, le nombre de pixels de la carte des contours présents sur les frontières des deux régions candidates à une fusion. Il est calculé de la façon suivante :

Soient R1 et R2 deux agents régions candidats à une fusion. On note :

- p_{R1R2} : le nombre de points de la frontière intérieure de l'agent région R1 avec l'agent R2,
- p_{R2R1} : le nombre de points de frontière intérieure de l'agent région R2 avec l'agent R1,
- c_{R1R2} : le nombre de points de la frontière intérieure de l'agent région R1 avec l'agent R2 qui appartiennent à un contour,
- c_{R2R1} : le nombre de points de la frontière intérieure de l'agent région R2 avec l'agent R1 qui appartiennent à un contour.

Le critère d'acceptation de fusion est alors défini par :

$$\frac{c_{R1R2} + c_{R2R1}}{p_{R1R2} + p_{R2R1}} \leq \text{Seuil}$$

La fusion est donc maintenant acceptée si le désir de fusion entre les deux régions est réciproque et si le nombre de points de contours situés sur les frontières des deux régions est faible.

Coopération contour-région pour la division de région :

L'étape suivante a consisté en la mise en œuvre d'une stratégie de division de région quand celle-ci est traversée par contour. En autorisant simultanément la fusion et la division de régions, nous voulions vérifier que le SMA allait bien converger vers un état stable et ne va pas rediviser en deux une région résultant d'une fusion, ou l'inverse.

C'est le contour qui traverse la région qui va prendre l'initiative de l'opération. Pour cela, suivant le même principe que pour les agents régions, nous avons développé un automate de comportement des agents contours s'appuyant sur les fonctions suivantes :

- *une estimation du désir de division* : on prend en compte le fait que le contour traverse complètement ou partiellement la région, la longueur du contour à l'intérieur de la région, ainsi que le fait qu'après division, les deux régions résultantes soient de taille raisonnable. Il est en effet de peu d'intérêt qu'une des régions résultantes soit très petite et très proche de la frontière, dans ce cas, une stratégie de négociation des pixels frontières semble plus appropriée.
- *un critère d'acceptation de division* : le contour ordonne à la région de se diviser si le désir de division dépasse un certain seuil, mais celle-ci peut refuser, si elle est par exemple en cours de fusion avec une autre région.
- *un critère de naissance* : c'est l'inverse du critère de survie ; il s'agit de donner naissance à un nouvel agent région et de décider, comment les deux agents, l'ancien et le nouveau, vont se répartir les deux nouvelles régions résultant de la division. Comme dans le cas du critère de survie les résultats de la segmentation ne dépendent pas de ce critère.

L'agent contour va commencer par calculer ses *segments de contours*. Il s'agit de chaînes de pixels dont chacune appartient à une seule région de la carte des régions. Chaque segment de contour permet d'estimer le critère de division de la région R traversée par ce segment qui est calculé de la manière suivante : pour chaque segment de contour, on exécute une opération d'agrégation des pixels d'une sous-région en démarrant d'un pixel choisi arbitrairement parmi les voisins en 8-connexité du premier pixel du segment en cours. Cette agrégation de pixels permet de calculer la surface S_{R1} (*surface de division* en gris sur la figure 4) de l'une des deux régions qui résulteraient d'une éventuelle division de la région R.

Le désir de division est défini par la formule suivante :

$$\frac{\text{Min}(\text{Surf}_{R1}, \text{Surf}_R - \text{Surf}_{R1})}{\text{Surf}_R} \geq \text{Seuil}$$

Pour garantir la cohérence des données dans le système, l'agent contour n'exécute de division que sur des agents régions actifs et qui ne sont pas en cours de fusion avec d'autres régions.

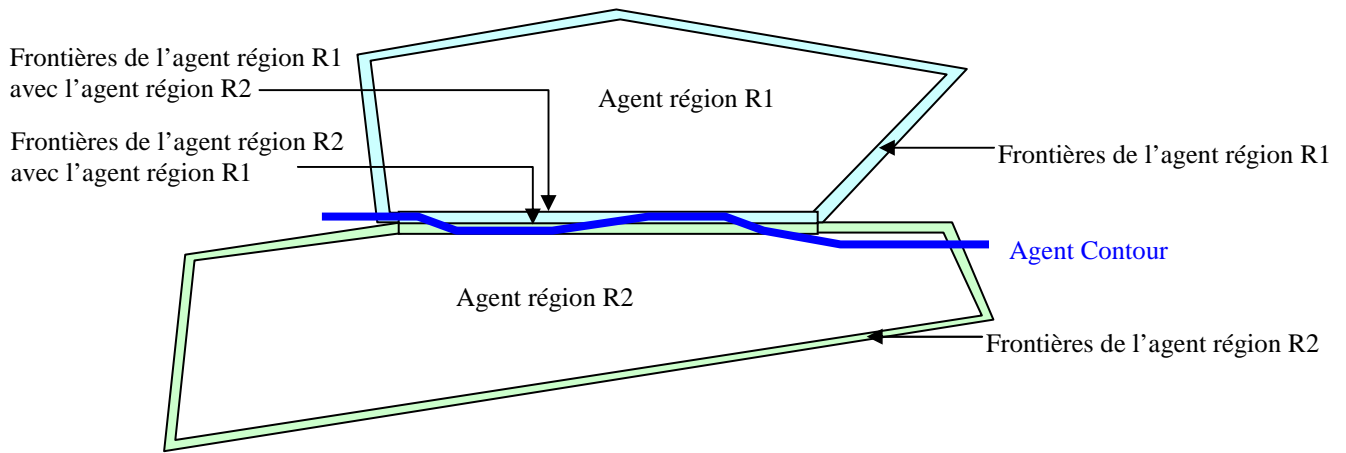


Figure 3 : Coopération contour-région pour l'acceptation de fusion de régions

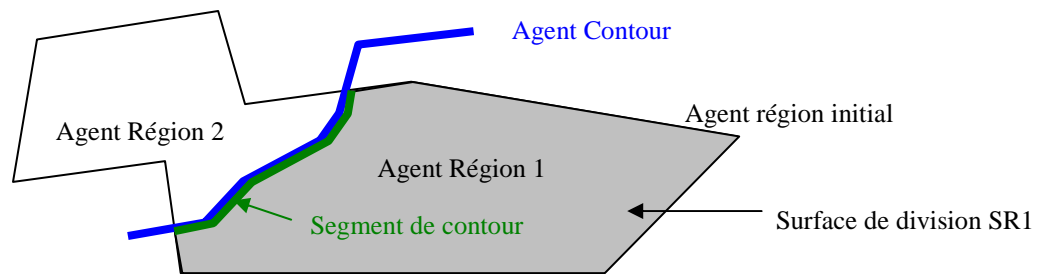


Figure 4 : Coopération contour-région pour la division de régions

5.4 Résultats obtenus

Nous présentons quelques résultats obtenus, d'une part sur une image synthétique (fig. 5), d'autre part sur une IRM de taille 256x256 (fig. 6). Du fait que seules les stratégies de fusion/division de régions sont actuellement opérationnelles, il n'y a que la carte des régions qui subit des modifications au cours de la segmentation, la carte des contours restant pour sa part inchangée.

Tout d'abord, il est important de souligner que nous partons d'un nombre très élevé de régions initiales (42771 pour l'IRM), du fait que nous n'utilisons pas de seuil d'homogénéité pour l'algorithme des quadrees. Il résulte que de nombreuses régions sont réduites à un pixel. Mais un de nos objectifs était de tester comment le SMA réagirait face à un nombre élevé d'agents. De même, la méthode de détection des contours utilisée est parfaite ; là encore, le seul objectif était de disposer simultanément de régions et de contours, pour instaurer la coopération et améliorer une très mauvaise segmentation initiale. Par ailleurs, aucune information a priori sur le domaine d'application n'est utilisée et les seuils de décision sont des seuils fixes et globaux.

Sur l'image synthétique, la segmentation finale en régions est correcte, hormis la zone de dégradé qui

nécessiterait un traitement spécifique, car nos critères d'homogénéité des régions à base de moyenne et d'écart type ne conviennent évidemment pas dans ce type de situation.

En ce qui concerne l'IRM cérébrale, la segmentation a été évaluée visuellement par un expert du domaine et jugée acceptable. Pour améliorer notablement les résultats, il suffirait d'éliminer au préalable l'enveloppe du cerveau. On pourrait également remplacer les seuils fixes et globaux par des seuils locaux et adaptatifs, tels que proposés dans [6].

6. Bilan et perspectives

6.1 Etat d'avancement

Actuellement, tout ce qui concerne l'aspect multi-agent de la plate-forme est opérationnel, de même que les interfaces de visualisation. Nous sommes capables de traiter simultanément jusqu'à 50000 agents régions et contours. Divers critères ont été essayés et les trois stratégies de coopération décrites au § 5.3 sont implémentées. Si les deux premières stratégies sont très classiques, en revanche la mise en œuvre du processus de division de région est plus originale, de même que son utilisation concurrentiellement avec le processus de fusion de régions.

Jusqu'ici, nous pouvons dire que la plate-forme a bien joué son rôle : faciliter l'expression, la mise en œuvre et l'utilisation concurrente de stratégies de coopération région-contour. Dans son état actuel, il s'agit d'une plate-forme non dédiée à un type d'image particulier ; les stratégies et les critères sont indépendants du domaine d'application et l'évaluation des résultats est une évaluation purement visuelle.

6.2 Perspectives

Nous allons poursuivre ce travail dans plusieurs directions. Dans un premier temps, toujours dans un contexte de plate-forme non dédiée, nous allons étudier :

- La mise en œuvre des autres modes de coopération décrits au § 4.3 : coopérations région-contour et contour-contour pour le raccordement de contours et coopération région-contour pour le prolongement de contours. Ainsi, nous pourrions nous assurer que tous ces modes peuvent cohabiter, tout en assurant une convergence du processus de segmentation.
- La mise en œuvre d'un processus de négociation entre deux régions voisines pour discuter, pour chaque pixel de sa meilleure affectation. Nous pensons que ce processus, coûteux, doit être lancé lors d'une seconde étape d'optimisation de la segmentation, et non pas en concurrence avec les divers modes de coopération contour-région que nous proposons. Nous envisageons pour cela de développer un nouvel automate de comportement des régions spécialisé dans ce type de négociation.

Dans un deuxième temps, et d'un point de vue applicatif, nous allons voir comment spécialiser la plate-forme pour la segmentation des IRM cérébrales. Il s'agira de définir de nouvelles catégories d'agents spécialisés dans la détection des tissus (matière blanche, matière grise, liquide céphalo-rachidien), la détection de tumeurs et l'identification de structures anatomiques en nous appuyant sur les connaissances a priori issues d'un atlas de Talairach numérisé.

Références

- [1] Z. AMMAR « Système de segmentation d'images à base de connaissances ». *Thèse de Doctorat de l'Université de Caen* (1995)
- [2] F. BELLET, M. SALOTTI, C. GARBAY « Une approche opportuniste et coopérative pour la vision de bas niveau ». *TSI* vol. 12 – n° 5 – p. 480-493 (1995)
- [3] P. BONNIN, B. ZAVIDOVIQUE « La segmentation coopérative : comment combiner détection de contours et croissance de régions ? ». *GRETSI'93* – p.755-758 (1993)
- [4] A. BOUCHER, C. GARBAY « Des agents spécialisés pour la compréhension de séquences d'images ». *RFIA '98*, vol. II – p.275-284 (1998)
- [5] A. BUREAU, C. GARBAY, M. DOJAT « Coopération entre deux populations d'agents pour la segmentation ». *ORASIS'2001* – p.281-290 (2001)
- [6] E. DUCHESNAY « Agents situés dans l'image et organisés en pyramide irrégulière. Contribution à la segmentation par une approche d'agrégation coopérative et adaptative ». *Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes-1* (2001)
- [7] C. GARBAY, « Architectures logicielles et contrôle dans les systèmes de vision ». in « *Les systèmes de vision* » – J-M. Jolion eds. – *Traité IC2 – Hermès*- chap. 7 (2001)
- [8] O. GUTKNECHT, J. FERBER « Vers une méthodologie organisationnelle de conception de systèmes multi-agent ». *Rapport de recherche LIRMM n° 99073* (1999)
- [9] O. GUTKNECHT, J. FERBER « MadKit : une architecture de plate-forme multi-agent générique ». *Rapport de recherche LIRMM n° 00061* (2000)
- [10] N. JENNINGS « Agent-Based Computing : Promise and Perils ». *IJCAI'99* – p.1429-1436 (1999)
- [11] J. LIU, Y. T. TANG « Adaptive Image Segmentation With Distributed Behavior-Based Agents ». *IEEE Trans. on PAMI* 21(6) – p.544-551 (1999)
- [12] X. MUNOZ, J. FREIXENET, X. CUFI, J. MARTI - "Strategies for image segmentation combining region and boundary information". *Pattern Recognition Letters* 24 - p. 375-392 (2003)
- [13] A.M. NAZIF, M.D. LEVINE - "Low level image segmentation: an expert system". *IEEE Trans on PAMI* – 6(5) - p. 555-577 (1984)
- [14] Bibliothèque de traitement d'images Pandore : <http://www.greyc.ismra.fr/~regis/Pandore>
- [15] N. RICHARD, M. DOJAT, C. GARBAY « Dynamic adaptation of cooperative agents for MRI brain scans segmentation ». *Artificial Intelligence in Medicine - AIME'01* – p. 349-358 (2001)
- [16] N. RICHARD, M. DOJAT, C. GARBAY « Situated cooperative agents: a powerful paradigm for MRI brain scans segmentation ». *European Conf. On AI – ECAI*-(2002).
- [17] J-H. XUE, S. RUAN, B. MORETTI, M. REVENU, D. BLOYET « Knowledge-based segmentation and labeling of brain structures from MRI images ». *Pattern Recognition Letters* 22 – p.395-405 (2001)

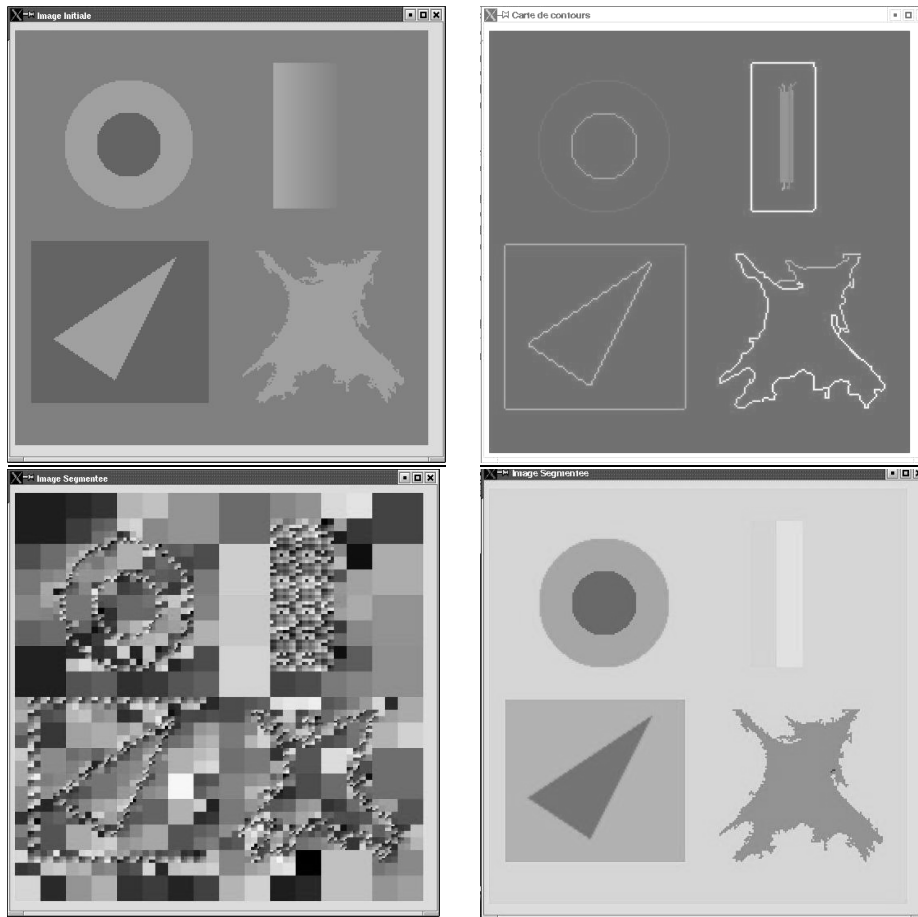


Figure 5 : Segmentation d'une image synthétique.

En haut à gauche, l'image originale; en haut à droite, la carte des contours obtenues par la méthode de Deriche; en bas à gauche, la segmentation en régions initiales obtenue par la méthode des quadrees; en bas à droite, la segmentation finale obtenue par le SMA.

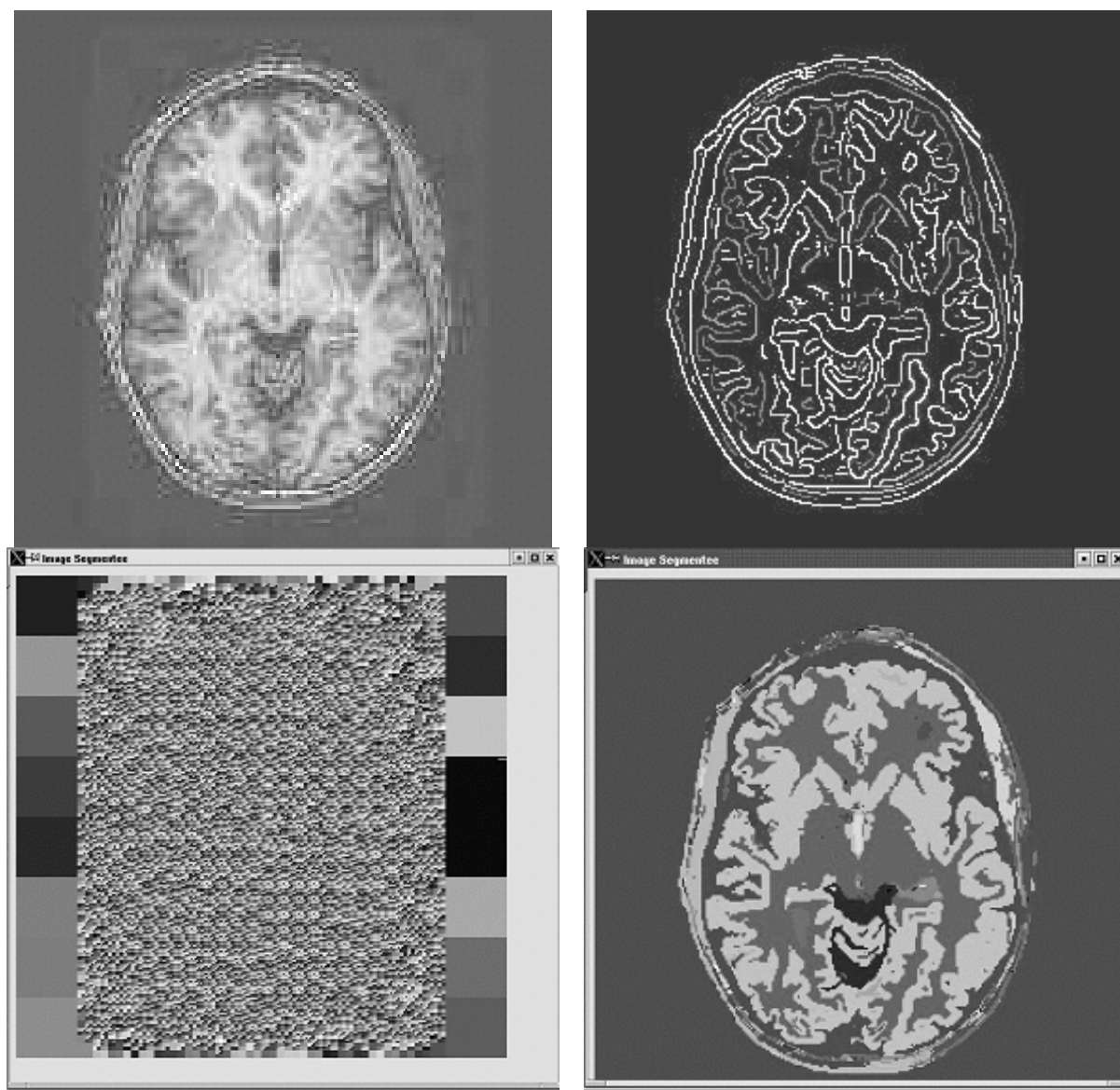


Figure 6 : Segmentation d'une IRM 256x256

En haut à gauche, l'image originale; en haut à droite, la carte des contours obtenues par la méthode de Deriche; en bas à gauche, la segmentation en régions initiales obtenue par la méthode des quadrees; en bas à droite, la segmentation finale obtenue par le SMA.