

Architecture pyramidale agent pour la segmentation d'image : Application à l'extraction d'une zone lobulaire issue d'une mammographie.

Yann JACQUELET¹, Jean-Jacques MONTOIS¹, Edouard DUCHESNAY¹, Mireille GARREAU², Abel KINIE¹

¹LTSI/GRAID – IUT de Rennes–Saint Malo, Bd des déportés BP 195, 35409 Saint Malo

²LTSI groupe image – Université de Rennes– Campus de Beaulieu, Bat. 22, 35042 Rennes Cedex

¹{Yann.Jacquelet, Jean-Jacques.Montois, Edouard.Duchesnay, Abel.Kinie}@iutsm.univ-rennes1.fr

²Mireille.Garreau@univ-rennes1.fr

Résumé – Une nouvelle approche de segmentation d'image, basée d'une part sur une architecture pyramidale et d'autre part sur les concepts agent, est appliquée à des images de mammographie. Les interactions locales d'agents, modélisées par un plan d'actions comportementales assurent une segmentation progressive par fusions pertinentes de régions. L'aspect novateur de ce travail réside, entre autre, dans la transposition du graphe d'adjacence issu de la pyramide irrégulière adaptative en un réseau d'agents accointants, favorisant ainsi au mieux les choix de fusion. L'application des principes de la pyramide agent à l'extraction du tissu glandulaire en mammographie montre des résultats significatifs quant aux potentialités de cette nouvelle méthode de segmentation.

Mots clés : segmentation, pyramide irrégulière adaptative, système multiagents, traitements d'image.

Abstract – A new method for image segmentation based, on the one hand on pyramidal architecture, and, on the other hand on agent concepts is applied to mammography. Local interactions between agents, formalized by a plan of behavioural actions, make a progressive segmentation, based on the merging of regions, possible. The key point is the transposition of the adjacency graph, which comes from the irregular adaptive pyramid, in a network of agents' acquaintanceship. The aim of this transposition is to make the merging of regions easier. Applying the pyramidal agent to the extraction of the glandular tissue in mammography provides significant results emphasizing the potentials of this new method.

Keywords : segmentation, irregular adaptive pyramid, agent, image processing.

I Introduction et problématique

Nous voulons aborder le problème de la segmentation d'image sous l'angle d'un Système Multi Agents (SMA). L'objectif est de rendre plus adaptatif l'aspect local du regroupement de régions et de prendre en compte le plus tôt possible l'information de contour dans l'image. La segmentation consiste à construire en parallèle un ensemble de régions formant une partition de l'image. Les techniques agents sont particulièrement adaptées à la résolution de problèmes distribués. Deux approches sont possibles: (i) Les agents se comportent comme des spécialistes de traitements d'image[1] coopérant ensemble. (ii) Les agents sont associés à des morceaux d'image[2] et de leurs interactions émergent la segmentation finale. Notre choix s'est porté sur la 2^{ème} approche, à savoir, l'incarnation des régions par des agents afin de développer un traitement local plus pertinent en regard des nombreux cas de figures rencontrés lors de la segmentation. L'organisation sociale des agents est souvent dédiée dans les modélisations de sociétés d'agents situés[2], cette observation nous amène à étudier des méthodes structurantes, en particulier le schéma pyramidal. Celui-ci, fournit des mécanismes orientés d'une part vers l'aspect distribué du traitement de fusions de régions, et d'autre part vers une plus forte prise en compte de la localité du traitement. La pyramide rassemble ainsi les agents dans une organisation sociale leur permettant d'exprimer leur nature distribuée et communicante. En outre, le formalisme de

graphe d'adjacence habituellement utilisé dans le schéma pyramidal permet de modéliser la communauté d'agents dans ses aspects d'accointances et d'interactions. Nous nous attacherons désormais à transposer une formulation opératoire dont la puissance de traitement est concentrée dans la pertinence d'un algorithme, vers une formulation comportementale où le traitement émerge d'une richesse d'interactions entre agents. Nous utilisons une pyramide irrégulière adaptative – Jolion & Montanvert[3] – adéquate à une transposition agent, nous parlerons désormais d'une pyramide irrégulière adaptative agent. Un point important de notre démarche est de favoriser lors de la segmentation, la coopération région–contour (fig. 1). En effet, la méthode définit des agents région et des agents contour, leurs interactions favoriseront la fusion de régions d'une façon plus adaptée. L'idée générale est donc d'associer un agent à chaque sommet–région et une accointance à chaque arc du graphe d'adjacence. L'accointance entre agents définit une relation de voisinage de régions ou de contours. Les accointances d'un agent représentent donc la liste de ses régions voisines et des contours. Cette transposition contribue à l'augmentation du degré d'adaptabilité des sommets du graphe conduisant à une gestion plus efficace des activités locales de traitement d'image, entre autre le choix des fusions.

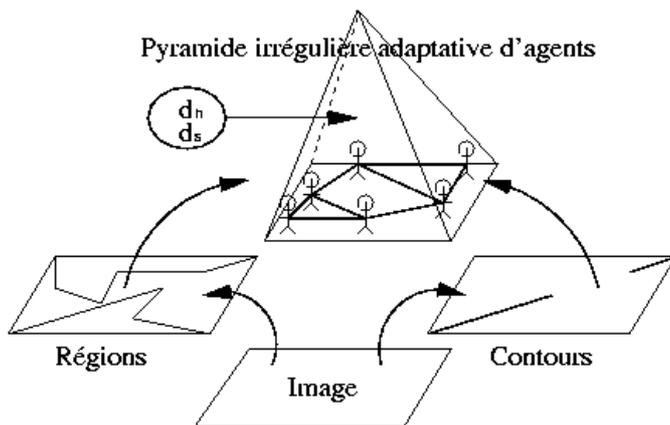


Fig. 1 : Origine des agents (régions et contours)

Notre approche agent nécessite de définir précisément, l'organisation sociale des agents et son contrôle (II), ainsi que le comportement des agents (III) et leurs interactions (IV). V et VI présenteront les résultats de cette approche et la conclusion de cet article.

II Organisation pyramidale

La pyramide peut être vue comme un traitement itératif d'un niveau par rapport au niveau inférieur. Définir la pyramide agent revient à créer une lière population d'agents constituant ainsi le lier niveau puis d'une façon itérative, établir l'évolution de cette population agents d'un niveau N à un niveau $N+1$, enfin, de préciser la condition d'arrêt stabilisant la population. Le traitement pyramidal se divise en trois étapes clés :

- L'image originale est fragmentée (arbre quaternaire) initialement en régions homogènes. Chaque région r_i est alors associée à un agent a_i . Ainsi nous passons d'un espace composé de régions exploitées selon un formalisme de graphes (transformations par fusions successives de noeuds sur des critères de similarité de région), vers un espace composé d'agents dont les comportements locaux – les interactions – sont réglés selon des attributs sociaux (accointances, affinités, désirs, ...). D'autres agents de type contours sont formés à partir d'une image de gradient. Ces deux communautés d'agents (régions et contours) forment le premier niveau de la pyramide.
- Le niveau initial de la pyramide d'agents étant constitué, les agents réagissent avec leurs différentes accointances afin de déterminer localement les meilleurs regroupements de régions. Chaque agent région va développer 4 comportements (décrits ci-après) avec ses accointances afin d'établir « in fine » les meilleures fusions possibles avec les régions qui l'entourent. Comme les traitements sont locaux, ils génèrent un certain nombre de conflits qu'il faut résoudre; dans notre cas il s'agit d'au moins deux agents qui désirent fusionner avec un troisième. Une élection distribuée règle ce problème en désignant parmi les agents en conflits ceux qui pourront fusionner ensemble.
- Enfin, il faut statuer sur la création du niveau suivant. La décision est prise par rapport à la capacité des agents à mettre en oeuvre de nouvelles fusions. Concrètement, on observe le nombre d'agents qui fusionnent à chaque niveau et dès que la différence entre deux niveaux successifs devient trop petite, le traitement est arrêté.

A chaque niveau de la pyramide agent, il est possible d'extraire une segmentation intermédiaire, elle fournit un indice visuel intéressant pour appréhender la formation des régions finales. Les premiers niveaux comprennent de nombreuses petites régions qui proviennent de la division par arbre quaternaire. A mesure que l'on monte dans les niveaux, les régions deviennent de plus en plus grandes et s'agrègent sur leur contour définitif.

III Comportements des agents

Le schéma du traitement pyramidal est basé sur l'usage de graphes. La transposition d'un schéma de traitement pyramidal vers un schéma multi-agents s'accompagne de la traduction des graphes et leur algorithmique en réseau d'agents en accointances, ces derniers sont munis de comportements. Notons que les agents régions et contours sont intégrés dans un même réseau d'accointances. Notre démarche relevant d'une méthode – fusion de régions –, les agents régions ont ainsi un rôle principal dans la segmentation tandis que les agents contour agissent selon un mécanisme de contrainte sur les fusions. Les agents régions exécutent quatre comportements bien distincts.

1) L'agent explore sa région

L'exploration de l'agent se déroule principalement en deux étapes: (i) analyse locale de sa région, (ii) examen des "affinités" avec les régions voisines. Dès sa création, l'agent hérite d'une région, et dans un premier temps, il constitue une liste d'agents accointants à partir du voisinage de sa région; ils sont constitués des agents régions partageant une frontière avec lui, ainsi que d'agents contours suffisamment proches. Chaque agent installé dans une région, établit un vecteur caractéristique de celle-ci: $\langle \mu_i, \sigma_i, h_i \rangle$, composé de la moyenne des gris μ_i , de la variance σ_i , de l'histogramme h_i . Ensuite, les agents représentants l'image se transmettent mutuellement leurs vecteurs caractéristiques afin que chacun d'entre eux puisse établir les affinités qu'il éprouve pour les agents de sa liste d'accointances. Un agent A_i établira N vecteurs d'affinités pour les N agents définis dans sa liste d'accointances. L'affinité d'un agent A_s pour un agent A_i se définit par le vecteur $\langle \mu_{si}, \sigma_{si}, R_{si}, fl_{si}, fg_{si} \rangle$, soit respectivement la différence des moyennes de gris et des variances, la corrélation d'histogramme, la longueur de frontière et le gradient de frontière entre régions connexes. L'affinité inter-agent joue un rôle pivot car les agents se basent sur celle-ci pour établir leur décision de « se marier » autrement dit établir une fusion de région.

2) L'agent évalue son plan local de fusions avec ses agents accointants

Dans ce comportement, l'agent établit des hypothèses de fusions avec chacun des agents de sa liste d'accointances sur la base de similarités. L'idée est d'établir une classification des agents-région en 3 classes: la classe des régions qui ne satisfont pas à une similarité nécessaire, la classe des régions suffisamment similaires, enfin, la classe des régions où va s'exercer une « délibération » dans le but de les classer dans l'une ou l'autre des deux précédentes classes. C'est à ce niveau que réside la progressivité du mécanisme de fusion car il est basé sur un mécanisme de « critiques » qui affaiblit ou renforce le désir de fusion entre agents région.

Pour chaque affinité avec un agent accointant, l'agent calcule un degré de désir associé ; c'est une représentation scalaire du vecteur d'affinité, il s'agit ici d'une somme pondérée des différentes composantes de notre vecteur. L'agent procède à un premier seuillage global; une hypothèse de fusion avec une accointance est classée selon le degré d de désir associé: hypothèse rejetée si ($d < d_s$), incertaine si ($d_s < d < d_n$) ou acceptée si ($d_n < d$). L'ouverture $|d_n - d_s|$ représente en quelque sorte le réglage du niveau délibératif des agents. Une grande ouverture déterminera l'émergence de grandes régions, une petite ouverture l'apparition de nombreuses régions (sur-segmentation). Parmi les hypothèses incertaines, toutes ne sont pas retenues. Sur celles-ci, l'agent calcule un seuil local, selon la technique du « contraste moyen maximum » [4]. A la suite de ce seuillage local, les hypothèses incertaines retenues seront soumises à la critique de toutes les accointances de l'agent, régions et contours.

3) L'agent affine son plan local de fusions par collaboration avec ses accointances

Le classement des hypothèses de fusion incertaines est résolu par les critiques des accointances régions et contours . En effet, ces dernières possèdent une vision locale de l'image qui leur est propre; ainsi, le désir d'un agent A_s de se réunir avec un agent A_i n'est pas forcément commutatif (désir $A_{si} \neq$ désir A_{is}). Le mécanisme des critiques permet aux accointances régions et contours de donner des avis afin d'affaiblir ou renforcer le désir de fusion entre agents. Ainsi, la pertinence d'une fusion entre 2 agents régions accointants donnera une région finale plus réaliste car tenant compte des positions relatives des régions et contours voisins. Une critique correspond à une appréciation scalaire portant sur une fusion incertaine (mécanisme de production des critiques décrit plus loin). Quantitativement, l'agent A_s ajoute à son désir initial de fusion pour A_i la somme algébrique des critiques des agents accointants et seuille cette valeur par rapport à d_n : $\text{desir}_{si} = \text{desir}_{si} + \sum_j c_{si}^j$. A cette étape du traitement, l'agent connaît parfaitement les hypothèses de fusions rejetées et acceptées. Ces hypothèses représentent le plan de fusions de notre agent, un plan qui lui est propre.

4) Négociation avec les accointances

Les plans locaux de fusions étant construits, il faut régler les éventuels conflits. En effet, les plans de fusions ont été produits par des traitements locaux et il se peut qu'un agent région soit l'objet de désir de plusieurs autres. La question est de savoir quelles sont les fusions qui seront exécutées en parallèle. Pour résoudre ce conflit, Meer utilise un algorithme d'élection distribuée[5] utilisé dans les pyramides irrégulières stochastiques. Le principe de cet algorithme repose sur l'attribution d'une valeur numérique à chaque noeud du graphe et de la détection des maxima locaux sur le voisinage d'un noeud. Lors des itérations de l'algorithme, le voisinage est modifié de manière à prendre en compte des contraintes satisfaisant la convergence de la pyramide et à la bonne répartition de ces maxima locaux. Meer choisit comme valeur numérique pour chaque noeud la réalisation d'une variable aléatoire. Montanvert[3] réutilise le même principe dans les pyramides irrégulières adaptatives

en associant à cette valeur numérique la variance de la région. Dans notre cas, il s'agit de favoriser l'agent-région ayant le plus fort désir de représenter une multitude d'agents-région pour lesquels il a un désir de fusion. Pour modéliser ce "charisme" on associe à un agent-région un scalaire égal à la somme des désirs de fusions qu'il éprouve pour les agents-région appartenant à son plan d'hypothèses de fusion. Plus un agent voudra se regrouper avec d'autres, plus il aura de chance de devenir un maxima dans le réseau de conflit. Pour déterminer ce réseau, les agents régions s'échangent préalablement leur plan de fusions. Une fois les maxima détectés, on exécute les fusions, ainsi se construit le niveau suivant (K+1) de la pyramide agent.

IV Coopération entre agents

Le traitement pyramidal agent a recours à deux sortes de coopération, la première met en oeuvre une interaction entre agents régions tandis que la seconde une collaboration entre les agents régions et les agents contours. Toutes les deux participent au mécanisme des critiques. Du fait du seuillage local lors du comportement de planification des fusions, un agent région rejette une partie de ses fusions incertaines. La construction du plan local de fusion ne tient pas compte dans un lien temps des autres plans créés par les agents régions accointants. La seconde coopération a pour but de contraindre les fusions par des évidences locales dans l'image. Ainsi, une hypothèse de fusion incertaine tiendra compte d'un ou plusieurs contours, voire même de régions favorisant ou défavorisant la fusion.

a) Coopération région/région

La coopération région/région s'élabore sur un principe de consentement mutuel. A ce stade, chaque agent région a partitionné son voisinage en 2 ensembles: l'ensemble des agents pour lesquels il a un désir de fusion ($d > d_s$) et l'ensemble des agents rejetés ($d < d_n$). En conséquence, un agent A_i qui souhaite fusionner avec un agent A_j provoquera une analyse par les deux agents de leurs plans d'hypothèses de fusions. Si l'agent A_j appartient à l'ensemble des agents rejetés par A_i alors une critique fortement négative vient s'ajouter au désir de fusion de A_i pour A_j ($c_{ij}^i = -\text{max_value}$). Ce processus est appliqué à tous les agents composant l'image.

b) Coopération région/contour

Cette interaction est basé sur deux idées faisant intervenir des indices visuels locaux :

- La fusion de deux régions est fortement désapprouvée si un contour ou sa prolongation passe entre ces deux régions. Actuellement nos contours sont représentés par des segments et leur prolongation correspond à la droite portée par ce même segment.
- La fusion de deux régions est fortement encouragée si elle met en scène deux régions du même côté d'un contour.

Dans cette coopération, les éléments de contours n'ont pas besoin de former des chaînes fermées. Ils sont extraits directement depuis une image de gradients. Ainsi utilisés, ils permettent de freiner l'extension d'une région au niveau de fusions incertaines.

IV Expérimentation

Des résultats ont été obtenus sur une mammographie du sein, image acquise par scanner X (D' Hagay, centre hospitalier René Huguenin, St Cloud). Ce type d'image permet de calculer le volume tumoral chez une patiente. La problématique sur une image est l'identification de la zone potentiellement atteinte. Une mauvaise appréciation de cette zone peut perturber grandement les calculs du volume de la tumeur. En règle générale, la tumeur se développe dans la partie lobulaire (Fig. 2); il faut donc extraire cette région qui peut être par ailleurs accolée au muscle pectoral ou à la peau; sur la fig. 2, nous nous situons dans le premier cas de figure.

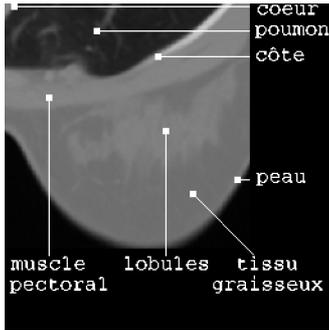


Fig. 2 : Image originale

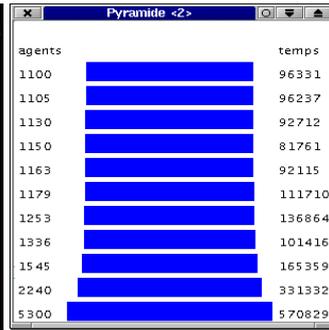


Fig. 3 : Pyramide

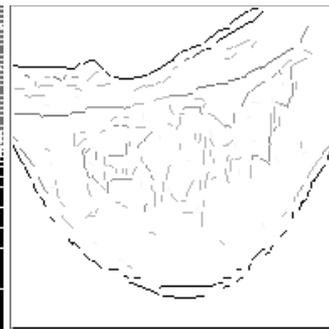
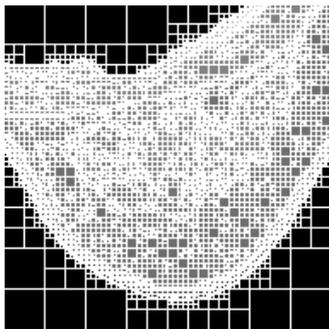


Fig. 4 : Division quaternaire Fig. 5 : Segments de contours

Le travail d'extraction de cette région d'intérêt est rendu particulièrement difficile du fait de la similarité des caractéristiques statistiques des objets en contact; l'écart entre les moyennes est de l'ordre du bruit. L'expérimentation proposée consiste à extraire la zone lobulaire pour des seuils de désir nécessaire d_n et de désir suffisant d_s appropriés.

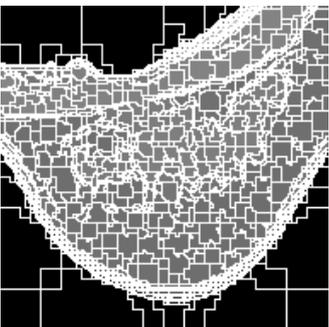


Fig. 6 : Niveau 1



Fig. 7 : Niveau 2

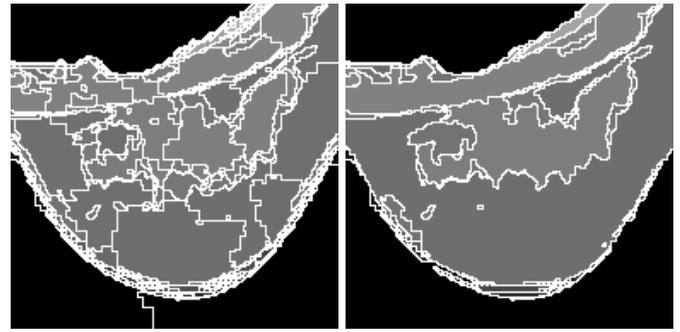


Fig. 8 : Niveau 3

Fig. 9 : Apex

La fig. 3 représente la pyramide avec pour chaque niveau le nombre d'agents utilisés et le temps de calcul en ms. Sur les fig. 4 et 5, on visualise la répartition initiale des agents régions et contours de la base de la pyramide. Les fig. 6, 7, 8 et 9 illustrent l'émergence progressive des différentes régions dont celle que l'on cherche à extraire. La fig. 9 est un assez bon résultat, le muscle pectoral et la zone lobulaire sont deux régions distinctes. La segmentation s'est effectuée à l'aide de 18489 agents, avec $d_n = 0,8820$ et $d_s = 0,9690$. Les seuils d_n et d_s permettent d'ouvrir une fenêtre d'incertitude dans le choix des fusions. Pour des fusions incertaines les agents régions coopèrent avec leur voisinage région et contour. Ouvrir une trop grande fenêtre d'incertitude amène les agents à délibérer et on note une uniformisation des points de vue (sous-segmentation). Au contraire, refermer cette fenêtre ($d_n = d_s$), pousse les agents à durcir leur position (sur-segmentation).

V Conclusion

L'architecture agent présentée offre une vision plus riche dans l'approche segmentation d'image par fusion de régions. Elle permet de passer d'un espace opératoire dans un espace comportemental autorisant, vis à vis des graphes classiques, une plus grande flexibilité et une meilleure prise en compte de la localité du traitement. En outre, l'interaction région-contour de type collaborative est effective et ne nécessite pas une reconstruction préalable des contours. Les premières expérimentations donnent des résultats tout à fait satisfaisants en regard des méthodes traditionnelles de segmentation. Le réglage du *désir* peut donner une facilité pour le traicteur d'image en produisant un effet de clarification des agents provoquant ainsi l'apparition de régions homogènes intéressantes.

Références

- [1] O. Baujard, C. Garbay, « KISS, a Multi-Agent Segmentation System », Special Issue "From Numeric to Symbolic Image processing : Systems and Applications", SPIE, Optical Engineering, pp 1235-1249, June 1993.
- [2] A. Boucher, a. Doisy, X. Ronot, C. Garbay, « A society of goal-oriented agents for the analysis of living cells », Artificial Intelligence in Medicine, (14):183-199, 1998.
- [3] J.M. Jolion, A. Montanvert, « The adaptative pyramid : A framework for 2d image analysis », CVGIP:IU, 1992
- [4] A. Montanvert, P. Meer, A. Rosenfield, « Hierarchical image analysis using irregular tessellations », IEEE Transactions on PAMI, vol 13, 307-316, April 1991.
- [5] P. Meer, « Stochastic image pyramids », CVGIP, vol 45, 269-294, 1989.