

Un système de segmentation d'images à base de connaissances

Application à des images biomédicales

Marinette REVENU, Ziad AMMAR, Abder ELMOATAZ, Christine PORQUET, Michel DESVIGNES

Laboratoire d'Algorithmique et d'Intelligence Artificielle de Caen
ISMRA, 6 Boulevard du Maréchal Juin, 14050 CAEN Cedex

RÉSUMÉ

Dans cet article nous présentons un système de segmentation d'images implémentant une architecture logicielle flexible et efficace pour intégrer des connaissances perceptives de groupement d'indices visuels et segmenter différentes classes d'images et en particulier des images biomédicales. Les connaissances descriptives sont représentées par des objets et les connaissances opératoires sont définies sous la forme de sources de connaissances. Celles-ci sont mises en oeuvre par un Tableau Noir à contrôle hiérarchique.

ABSTRACT

In this paper we present a system of image segmentation which implements a flexible and efficient software architecture that integrates perceptual grouping knowledge of different visual primitives to segment different classes of images and of biomedical images in particular. The descriptive knowledge is represented using objects and the operating knowledge is expressed in the form of knowledge sources which are taken into account by a Blackboard architecture using hierarchical control model.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre de la création d'un atelier logiciel de traitement et d'interprétation d'images intégrant des connaissances de natures diverses, nous étudions la coopération des approches "contours" et "régions" de la segmentation. La segmentation d'images consiste à dégager les informations pertinentes pour l'interprétation du contenu sémantique de cette image. Elle est basée sur l'extraction d'indices visuels locaux et sur leur regroupement en structures perceptives [DENASI 92] grâce à des critères plus globaux incluant la loi de continuité [MARR 82] et les lois de proximité et de colinéarité [KOFFKA 63] spécifiques d'une approche perceptuelle. Nous considérons que ce processus s'effectue en plusieurs étapes en fusionnant ou en divisant des éléments tels que contours et régions.

L'objectif de ce travail est de valider l'idée que l'on puisse travailler sur plusieurs représentations d'une image, utiliser les outils classiques de la segmentation et guider les processus de traitement par les lois générales de la perception visuelle. Il se situe dans l'optique du développement d'algorithmes basés sur des connaissances [CLEMENT 93].

Dans cet article nous présentons une architecture de représentation de connaissances flexible et efficace et une méthodologie de traitement d'images adaptée à la segmentation de différentes classes d'images. Dans un premier temps nous présentons l'architecture de représentation des connaissances et dans un second temps nous illustrons ses possibilités au travers d'exemples d'application sur quelques classes d'images et en particulier sur des images biomédicales.

2. DESCRIPTION DU SYSTEME

Notre démarche est basée sur la représentation des objets (images, contours, régions, histogrammes, graphes, etc.) et opérateurs de traitement d'images, des stratégies de contrôle et du domaine d'application, ainsi que sur l'explicitation des buts de l'analyse d'une image. Nous souhaitons réaliser un système ouvert permettant de faire coopérer les différentes techniques de segmentation en utilisant des connaissances à priori et les objectifs particuliers à chaque traitement de l'image. La phase de segmentation ne représentant qu'une étape de l'analyse d'une image, nous avons choisi une méthodologie de développement et une architecture logicielle susceptible d'articuler ce module avec les modules d'interprétation.



2.1. L'architecture du système

L'architecture du système est basée sur un Tableau Noir [DESVIGNES 90]. Un système à Tableau Noir essaie d'éliminer les faiblesses rencontrées dans les systèmes experts classiques de la manière suivante:

- Les connaissances sont divisées en modules (sources de connaissances), chaque source contenant sa propre base de connaissances, son propre moteur d'inférence.
- La communication entre les sources est limitée à la lecture et l'écriture dans la mémoire de travail (tableau noir); chaque source doit lire/écrire dans un format acceptable pour les autres modules.
- Le Tableau Noir est subdivisé de façon à faire cohabiter des données ayant des représentations différentes; il contient toutes les informations concernant le problème à résoudre et les éléments de solutions développés par les sources exécutées.

Le principe de résolution consiste à exécuter les sources de connaissances qui peuvent faire évoluer les éléments de solutions présents dans la base de données vers d'autres éléments plus proches de la solution finale. La solution est peu à peu construite par application de différentes sources sur les informations du tableau noir. Une source ne sait résoudre qu'une partie du problème, il faut donc une complémentarité des sources pour résoudre un problème.

Nous avons choisi d'implémenter un système à contrôle hiérarchique à trois niveaux: stratégies, tâches et spécialistes. Les stratégies et les tâches représentent les sources de connaissances de contrôle déterminant l'ordre d'application des spécialistes, alors que les spécialistes représentent les sources de connaissance du domaine, principalement les connaissances opératoires de groupement et de division d'indices visuels.

Dans la base de données du Tableau Noir, le domaine est décomposé en 7 niveaux d'abstraction: image, zone d'image, région, ligne, groupement de régions, groupement de lignes, point d'intersection de lignes. Le lien entre une image et ses différents composants est réalisé par l'intermédiaire de cartes:

- une carte des régions.
- une carte des lignes.
- une carte des groupements de régions.
- une carte des groupements de lignes.
- une carte de points d'intersection entre lignes.

Les relations de voisinage entre les objets de même niveau ou de niveaux différents sont gérées explicitement et sont remises à jour pendant la session.

2.2. Les opérations sur les classes d'objets manipulés

Pour chaque classe d'objets manipulés, des méthodes réalisant les traitements ont été définies.

Des opérations de bas niveau globales sur l'**image** sont utilisées au niveau image: partition de l'image en zones carrées, segmentation initiale en régions, segmentation initiale en lignes, calcul global de caractéristiques de régions ou de lignes, marquage global des régions ou des frontières entre régions sur les cartes d'images, etc.

Des opérations de divisions-fusions locales sont définies au niveau **zone** d'images en tenant compte des résultats de segmentation obtenus sur les zones voisines.

Les opérations sur le niveau **région** comportent :

- Les différentes opérations de calcul des caractéristiques d'une région élémentaire: le rectangle exinscrit, le minimum, le maximum, la moyenne et la variance des niveaux de gris, le gradient moyen de la région, la compacité, le rapport de forme, la surface, le centre de gravité, le contraste, le périmètre, l'histogramme.
- Les opérations de calcul des relations de voisinage avec les objets d'autres niveaux: les régions voisines, les lignes traversant ou touchant la région, les points d'intersection voisins.
- Les opérations de manipulation de l'histogramme: lissage, détection des minima et maxima et détermination des seuils.
- Les opérations de division d'une région suivant une ligne qui la traverse, ou suivant les seuils de l'histogramme.

Les opérations sur le niveau **ligne** comportent :

- Les différentes opérations de calcul des caractéristiques d'une ligne élémentaire: le rectangle exinscrit, les directions du point de départ et d'arrivée, la direction moyenne, la longueur, le gradient moyen, la variance du gradient, le contraste.
- Les opérations de calcul des relations de voisinage avec d'autres objets: les lignes voisines, les régions à gauche, les régions à droite.

- Les opérations de détermination des lignes se trouvant devant ou derrière la ligne ou des lignes parallèles, de calcul de distance à la ligne en avant la plus proche ou à la ligne parallèle la plus proche, de recherche du point de la ligne en arrière ou en avant le plus proche, d'évaluation de l'orientation de la ligne.

- Les tests pour décider si la ligne est sur la frontière de 2 régions adjacentes, si la ligne traverse une région, si une ligne est ouverte ou fermée, etc.

- Les opérations de jonction d'une ligne (en avant, en arrière) avec une autre suivant la direction en son point final, ou initial, de prolongation d'une ligne ouverte (en avant, en arrière) sur la frontière de deux régions ou suivant le maximum de gradient, de fusion de lignes proches ayant des directions voisines.

2.3. Les sources de connaissances

Pour segmenter une classe d'images, on définit des sources de connaissances implémentant une stratégie particulière de segmentation. Les connaissances générales sur la segmentation sont codées sous forme de sources de connaissances appelées spécialistes.

Les sources de connaissance de contrôle sont utilisées pour assurer l'ordre d'application des spécialistes suivant l'état de la résolution, et sont réparties sur 2 niveaux de contrôle: stratégie et tâche.

Un langage d'expression des sources de connaissances a été spécifié afin d'exprimer, le plus simplement possible, les conditions d'application des SC. Il comporte la définition de valuations et de comparateurs flous. Les valuations "très grand", "grand", "moyen", "petit", "très petit", sont utilisées sur les valeurs numériques des attributs des objets ou sur les résultats des méthodes. Par exemple, l'introduction de critères tels que "la surface de la région est grande" ou "la moyenne des niveaux de gris de la région est petite" dans la formulation de l'expertise de segmentation rend celle-ci potentiellement indépendante de la nature de l'image traitée. Les comparaisons relatives, estimation de la différence entre 2 valeurs d'attributs numériques de 2 objets différents appartenant à la même classe, sont traitées de la même manière en définissant une échelle de comparaison pour la différence.

Un module de segmentation se décompose en 3 étapes fondamentales [ELMOATAZ 91]:

- la présegmentation qui consiste à obtenir des segmentations initiales contours, régions ou contours/régions.

- la caractérisation et la description de l'image segmentée.
- la recherche de la meilleure solution par le regroupement et/ou la division de certains éléments de l'image segmentée suivant plusieurs critères.

La conception d'une application consiste à définir une ou plusieurs stratégies (condition d'application et séquence de tâches à activer), à décrire les tâches au moyen d'attributs (niveaux du Tableau Noir concernés, spécialistes contrôlés et mode de fonctionnement) et à choisir les spécialistes adaptés à la réalisation de l'objectif de chaque tâche.

Exemple de Stratégie:

- *Segmentation initiale pour obtenir de grandes régions avec élimination des petites régions*
- *Segmentation de chaque région*
- *Détermination des régions internes claires et foncées*
- *Calcul de mesures caractéristiques de l'image*

Exemples de Spécialistes :

- *segmenter une image en régions par application d'un opérateur de différence de filtres gaussiens*
- *fusionner deux régions de niveaux de gris proches, l'une de très petite surface et l'autre d'assez grande surface*
- *fusionner une région de petite surface et fort gradient avec une région voisine de niveau de gris proche*
- *fusionner une région de très grand rapport de forme et de petite surface avec une région voisine de niveau de gris proche*

L'implémentation est réalisée dans le langage à objets AIRELLE [NICOLLE 90], construit au dessus de LeLisp, pour les aspects concernant le raisonnement et l'expression de l'expertise, et en langage C pour les fonctions évoquées par les sources de connaissances effectuant les traitements sur les images et sur les graphes. Pour cela, nous avons réalisé une interface entre les deux langages afin d'accéder aux objets des environnements Lisp et C de façon transparente et ainsi assurer la cohérence globale des données.

3. EXPERIMENTATIONS

1 - Le principe de l'architecture Tableau Noir a été validé sur les images fournies par le GDR 134. Des sources de connaissances implémentent des stratégies de fusion-division basées sur les indices visuels régions et lignes, et utilisent des critères généraux de groupements perceptuels.



2 - L'extraction de connaissances spécifiques au domaine pouvant guider la segmentation a été effectuée grâce à diverses études [REVENU 93] sur des images biomédicales provenant du Service d'Anatomie Pathologique du Centre F. Baclesse de Caen. L'image présentée dans cet article provient de coupes histologiques colorées de tumeurs du sein. L'objectif fixé est tout d'abord de distinguer le tissu tumoral (les lobules) du stroma de soutien et des cellules inflammatoires, puis d'effectuer des mesures sur les cellules internes aux lobules. Les images initiale et finale sont présentées ci-dessous.

4. CONCLUSION

Les résultats obtenus valident notre démarche. Les opérateurs de base sont intégrés au système. Pendant la segmentation, le choix de ces opérateurs est guidé par des connaissances a priori et par les buts. Le formalisme d'expression des connaissances et le mécanisme d'enchaînement des traitements mis en oeuvre permettent au concepteur de l'application de décrire des algorithmes basés sur ces connaissances.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Mmes A.M. Mandard et P. Herlin du Service d'Anatomie Pathologique du Centre Anticancéreux F. Baclesse de Caen pour la mise à disposition d'images de microscopie et pour leur expertise.

BIBLIOGRAPHIE

- [CLEMENT 93] V. Clément et M. Thonnat, "A knowledge-based approach to integration of image processing procedures", CV GIP: Image understanding, Vol 57, No 2, pp 166-184, March 1993.
- [DENASI 92] S. Denasi, G. Quaglia and D. Rinaudi, "The use of perceptual organisation in the prediction of geometric structures", Pattern Recognition Letters 13, pp 529-539, 1992.
- [DESVIGNES 90] M. Desvignes, C. Porquet, M. Revenu, "The blackboard architecture for multiexpert control", Cognitiva, Madrid, Nov. 1990.
- [ELMOATAZ 91] A. Elmoataz, C. Porquet, M. Revenu, "A general-purpose segmentation system using knowledge on images and segmentation operators", Advances in Intelligent Robotic Systems. SPIE vol.1607, Boston, USA, Nov. 1991.
- [KOFFKA 63] K.Koffka, "Principles of gestalt Psychology", Harcourt, Brace and World, N.Y., 1963.
- [MARR 82] D. Marr, "Vision", Freeman, San Francisco, 1982.
- [NICOLLE 90] A. Nicolle, "Le Métalangage AIRELLE", Revue Française d'Intelligence Artificielle, vol. 4, n°1, 1990.
- [REVENU 93] M.Revenu, A.Elmoataz, C.Porquet, H.Cardot, "An automatic system for the classification of cellular categories in cytological images", SPIE - Intelligent Robot and Computer Vision XII, Boston, USA, Sept. 1993.

