

Adaptation de connaissances génériques pour l'interprétation d'images médicales : représentations par ontologies et par graphes et modélisation floue

Jamal Atif^{*,**}, Céline Hudelot^{*,***}
Isabelle Bloch^{*}

^{*}Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications (GET - Télécom Paris)
CNRS UMR 5141 LTCI - Paris, France
Isabelle.Bloch@enst.fr

^{**}Université des Antilles et de la Guyane, Guyane, France
jamal.atif@guyane.univ-ag.fr

^{***}Ecole Centrale Paris, Châtenay-Malabry, France
celine.hudelot@ecp.fr

Résumé. Dans le domaine de l'interprétation d'images, les relations spatiales jouent un rôle important dans la description et la reconnaissance des objets : elles permettent en effet de lever l'ambiguïté entre des objets d'apparences similaires et sont souvent plus stables que les caractéristiques des objets eux-mêmes. Dans cet article, nous montrons comment cette connaissance structurelle et spatiale peut être formalisée par un graphe et par des représentations floues des relations spatiales venant enrichir une ontologie des structures (anatomiques dans notre exemple), et permettant ainsi d'aborder les questions posées par le fossé sémantique. Cependant, des cas particuliers comme des cas pathologiques en imagerie médicale ne peuvent pas être correctement traités par le modèle générique sans y apporter des adaptations. Nous proposons une approche d'adaptation de la représentation et du raisonnement fondée sur un paradigme d'apprentissage.

1 Introduction

Dans les domaines de l'analyse de scènes et de l'interprétation d'images, tout comme dans le domaine de l'indexation des images numériques, on assiste, grâce aux progrès récents en ingénierie des connaissances, à un regain d'intérêt pour les approches s'appuyant sur la modélisation de connaissances *a priori* sur le domaine étudié. En particulier, les ontologies permettent de formaliser, de manière cohérente et consensuelle, les connaissances d'un domaine donné. Dans cet article, nous montrons comment la formalisation de connaissances génériques sur l'anatomie du cerveau peut faciliter l'analyse et l'interprétation d'images cérébrales. Cette connaissance peut être disponible sous la forme d'ontologies, comme par exemple la FMA (Foundational Model of Anatomy Rosse et Mejino (2003)) mais elle peut être aussi disponible sous la forme de descriptions linguistiques. De manière générale, il est difficile de traduire ces connaissances en modèle opérationnel servant à guider la segmentation et la reconnaissance

des structures cérébrales. Pour répondre à ce problème, nous proposons de modéliser cette connaissance à l'aide de graphes et de représentations floues des relations spatiales, dont l'intérêt pour répondre aux questions posées par le fossé sémantique est explicité dans la section 2. Cette représentation, décrite dans la section 3, permet d'une part d'utiliser des outils puissants de raisonnement à base de graphes mais elle permet aussi de représenter de manière naturelle l'organisation structurelle. En effet, les relations spatiales sont considérablement utilisées pour décrire, détecter et reconnaître les objets : elles permettent de lever l'ambiguïté entre des objets d'apparences similaires et elles sont souvent plus stables que les caractéristiques des objets eux-mêmes (c'est le cas des structures anatomiques). Dans notre approche, un graphe modélisant la connaissance générique sert de guide pour la reconnaissance des structures anatomiques dans des images cérébrales et est ensuite instancié de manière à tenir compte des spécificités de chaque cas étudié.

Cependant, certains cas spécifiques peuvent dévier de manière significative de la connaissance générique. C'est typiquement le cas des images cérébrales pathologiques où les structures pathologiques apparaissent comme de nouveaux objets non représentés dans le modèle générique mais aussi peuvent modifier la structure de la scène. Une autre contribution de cet article, détaillée dans les sections 4 et 5, est une méthodologie pour adapter la méthode de reconnaissance générique aux cas pathologiques en s'appuyant d'une part sur des connaissances *a priori* sur les pathologies et d'autre part sur l'information image propre au cas étudié. Nous proposons d'apprendre la variabilité des relations spatiales en présence des pathologies à partir d'une base de cas pathologiques. L'adaptation de la connaissance et du raisonnement pour le cas pathologique s'appuie sur une ontologie des tumeurs cérébrales, les résultats de l'apprentissage et un mécanisme de propagation dans le graphe pour mettre à jour et adapter le graphe et pour mesurer l'impact de la pathologie sur les structures avoisinantes. L'approche proposée, illustrée sur la figure 1 dans le cas de la reconnaissance de structures cérébrales dans des images de résonance magnétique (IRM) 3D, contribue à réduire le fossé entre deux problèmes connus : la segmentation et la reconnaissance d'objets dans une image d'une part et la représentation des connaissances d'autre part.

2 Fossé sémantique et intérêt des représentations structurales et floues

L'interprétation d'images est un problème complexe qui peut être défini comme l'extraction automatique de la sémantique d'une image. Cependant, cette sémantique n'est pas toujours explicitement dans l'image elle-même. Elle dépend d'une part des connaissances *a priori* sur le domaine et d'autre part du contexte de l'interprétation. Ces connaissances peuvent être modélisées et formalisées sous la forme d'ontologies.

Contrairement au domaine de l'analyse et de l'indexation de documents textuels pour lesquels les ontologies sont largement utilisées, dans le domaine de l'interprétation et de l'indexation sémantique d'images, la mise en correspondance du niveau perceptif (pixels ou voxels, groupes de pixels) et du niveau linguistique (concepts du domaine) de l'interprétation a souvent constitué une barrière à leur exploitation. Il s'agit du **fossé sémantique**, défini comme *le manque de concordance entre les informations perceptuelles que l'on peut extraire des images et l'interprétation qu'ont ces données pour un utilisateur dans une situation déter-*

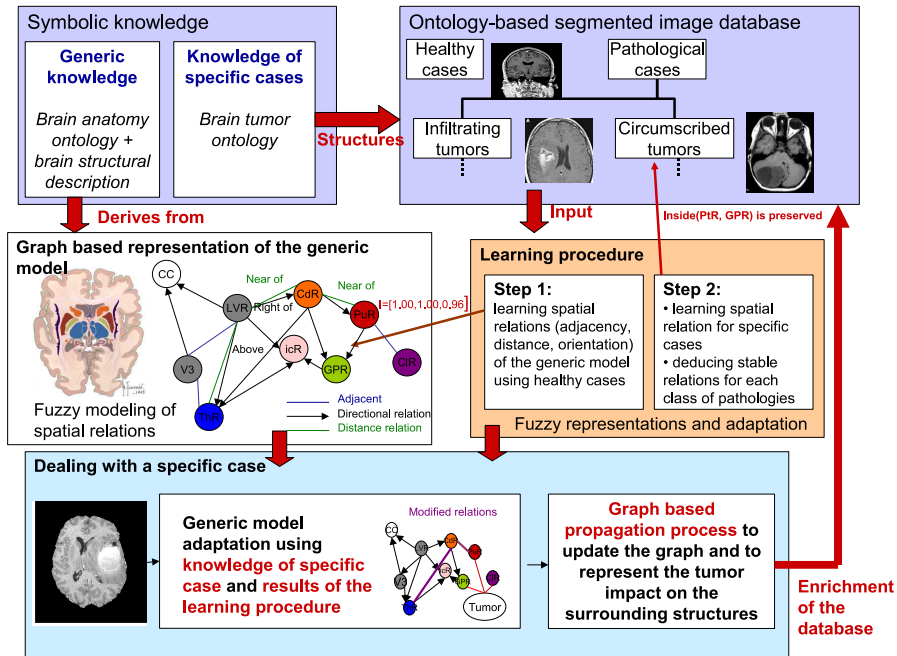


FIG. 1 – Schéma général de l’approche. Les connaissances symboliques sont représentées sous forme d’ontologies : une ontologie de relations spatiales enrichit une ontologie décrivant l’anatomie du cerveau. Une représentation par graphe du cerveau est déduite du modèle générique et d’une base d’images permettant d’apprendre les représentations floues des relations spatiales. Ce graphe guide la reconnaissance des structures du cerveau dans les images IRM. L’adaptation à des cas pathologiques est réalisée à la fois au niveau de la représentation des connaissances et du raisonnement.

minée (Smeulders et al. (2000)). Ce problème fait aussi référence au problème de l’ancrage de symboles en intelligence artificielle et en robotique (Coradeschi et Saffiotti (1999)) défini comme le problème de la création et du maintien de la correspondance entre les symboles et les données perçues (par un capteur visuel ou non) qui représentent le même objet physique (ou concept abstrait). De manière similaire à Bloch et Saffiotti (2001), présentant une étude des correspondances entre l’ancrage de symboles et la reconnaissance de formes, l’interprétation sémantique d’images peut être vue comme un problème d’ancrage de symboles qui consiste à associer dynamiquement une information linguistique de haut niveau à un ensemble de primitives perçues dans l’image. Dans le cas de l’interprétation d’images, cette information linguistique fait référence aux concepts du domaine d’application et à leur définition.

Exemple – En interprétation d’images cérébrales, les concepts peuvent être : **cerveau** : partie du système nerveux central, situé dans la tête, **noyau caudé** : noyau gris profond du té-lencéphale impliqué dans le contrôle des mouvements volontaires, **gliome** : tumeur du système nerveux central, issue des cellules gliales et localisée le plus souvent dans les hémisphères cérébraux.

Les ontologies, définies d'après Gruber (1993) comme *la spécification d'une conceptualisation partagée d'un domaine*, permettent de modéliser de manière formelle une certaine vue du monde, c'est-à-dire un domaine dans un contexte donné. Une ontologie est composée de l'ensemble des concepts, de leurs définitions et des relations entre ces concepts qui permettent de décrire et de raisonner sur ce domaine. Des développements récents dans le domaine de l'informatique médicale ont montré que les ontologies pouvaient formaliser de manière efficace la connaissance générique et partagée d'un domaine. Dans le domaine de l'image, notamment dans le domaine de l'indexation et de la recherche d'images, de nombreuses approches utilisent les ontologies pour introduire de la sémantique et pour réduire le problème du fossé sémantique. Town (2006) propose d'ancrer dans le domaine de l'image, à l'aide de techniques d'apprentissage supervisé, les termes d'un langage de requêtes utilisé pour rechercher des images par mots-clés. Une approche semblable est utilisée par Mezaris et al. (2004) et Hudelot (2005) qui définissent une ontologie intermédiaire de concepts visuels dont chaque concept est ancré à un ensemble de descripteurs calculés dans l'image. Cette approche permet d'une part de faire des requêtes de manière qualitative à l'aide des concepts de l'ontologie intermédiaire ou du domaine mais elle permet aussi de filtrer et sélectionner les résultats pertinents en fonction de leurs caractéristiques visuelles. Cependant, peu de travaux s'intéressent à l'utilisation des ontologies pour l'analyse et l'interprétation d'images. En particulier, la problématique de la segmentation des images est rarement prise en compte.

L'organisation structurelle et spatiale, c'est-à-dire les relations spatiales entre les différents concepts est une information primordiale, ainsi que cela a été mis en évidence par des études aussi bien en perception, cognition, linguistique, que dans les domaines du raisonnement spatial, de la vision par ordinateur, ou encore des systèmes d'information géographique. Les descriptions usuelles des scènes par des observateurs ou des utilisateurs utilisent intensivement les relations spatiales. De mêmes, celles-ci apportent beaucoup aux méthodes computationnelles de description et d'interprétation. Ces relations peuvent être de nature topologique (relations ensemblistes, adjacence) ou métriques (distances, directions relatives).

*Exemple – Le cerveau humain est fortement structuré : par exemple le **thalamus droit** est à gauche du **troisième ventricule** et en-dessous du **ventricule latéral**.*

Si le domaine du raisonnement spatial a été largement développé en intelligence artificielle, en particulier dans des formalismes logiques, il l'a été beaucoup moins en image et en vision. Nos travaux contribuent à développer ce domaine, en associant des modèles ontologiques, des représentations structurelles par graphes et des modélisations originales des relations spatiales.

Dans nos travaux, nous proposons d'enrichir les ontologies par une représentation floue des concepts dans le domaine de l'image. L'apport de la représentation floue est multiple :

- elle permet de représenter l'imprécision inhérente à la construction et à la définition d'un concept (typiquement le concept **proche de** est vague et imprécis et sa sémantique dépend du contexte et de l'échelle des objets et de leur environnement),
- elle permet de gérer l'imprécision liée à la connaissance experte du domaine,
- elle constitue un espace de représentation et de raisonnement permettant de réduire le fossé sémantique entre des concepts symboliques et des valeurs numériques extraites de l'image,
- elle permet la fusion d'informations hétérogènes,
- elle permet de rendre les ontologies opérationnelles pour le traitement d'images.

En particulier, comme l'information spatiale est très importante, nous proposons une ontologie

de relations spatiales et nous l'enrichissons par une représentation floue dans le domaine de l'image. Les sections suivantes décrivent en détail notre approche.

3 Représentation de la connaissance générique sous forme d'ontologies et de graphes

Nous considérons dans cet article le cas de l'analyse d'images cérébrales mais notre approche est généralisable à d'autres images médicales comme en témoignent des travaux récents (Moreno et al. (2006)). La description de l'anatomie cérébrale se fait naturellement de manière hiérarchique : chaque partie du cerveau est divisée en sous-parties jusqu'à un niveau considéré comme suffisamment fin. La description de l'organisation spatiale et hiérarchique du cerveau est une composante principale des descriptions linguistiques de l'anatomie. Depuis quelques années, un effort important a été fait à l'Université de Washington concernant la conception d'une ontologie de l'anatomie canonique du corps humain : la FMA (Foundational Model of Anatomy) (Rosse et Mejino (2003)). Si la neuro-anatomie, et en particulier les relations spatiales entre les différentes structures, n'est pas toujours très développée dans ce modèle, elle l'est plus dans des descriptions linguistiques¹. Que ce soit sous forme ontologique ou plus linéaire, ces descriptions impliquent des concepts qui sont des objets anatomiques, des caractéristiques de ces objets, ou des relations entre ces objets, qui représentent les éléments sur lesquels s'appuient les experts médicaux, en particulier pour reconnaître les objets dans les images.

Dans Hudelot et al. (2006), nous avons proposé une ontologie de relations spatiales dont une partie de l'organisation hiérarchique est représenté sur la figure 2 et dont le développement a été réalisé avec le langage OWL. Comme ce langage utilise les logiques de description, nous avons utilisé les domaines concrets, comme proposé par Afaure et Hajji (2002) et Petridis et al. (2006), pour ancrer les concepts de l'ontologie et leur description dans le domaine de l'image. En particulier, pour l'ontologie des relations spatiales, nous proposons d'enrichir les relations spatiales par leurs représentations floues dans le domaine de l'image dont on peut trouver une description détaillée dans Bloch (2005). L'ancrage est donc réalisé à l'aide des domaines concrets flous comme dans Nagypal et Motik (2003) et d'Aquin et al. (2004). La figure 3 illustre ce type de représentation pour des relations directionnelles.

Notre approche consiste donc à compléter la partie de la FMA correspondant au cerveau par une description de l'agencement spatial des différentes structures à l'aide de l'ontologie de relations spatiales comme illustré sur la figure 4. L'enrichissement sémantique fourni par les modèles flous de ces relations permet de formaliser les concepts des ontologies de domaine sous une forme exploitable pour l'interprétation des images et la reconnaissance des objets.

Les graphes sont un formalisme bien adapté pour l'interprétation d'images que ce soit des graphes spatiaux pour lesquels l'information porte directement sur les objets de la scène (c'est-à-dire que les nœuds sont des régions de l'image et les arcs des relations spatiales entre ces régions) ou des graphes sémantiques pour lesquels l'information n'est plus uniquement de nature spatiale. Les ontologies du domaine peuvent être tout naturellement vues comme des graphes sémantiques. Cependant, les graphes spatiaux sont des structures plus adéquates pour être utilisées de manière opérationnelle afin de guider la segmentation et l'interprétation

¹par exemple <http://www.chups.jussieu.fr/ext/neuranat/index.html>

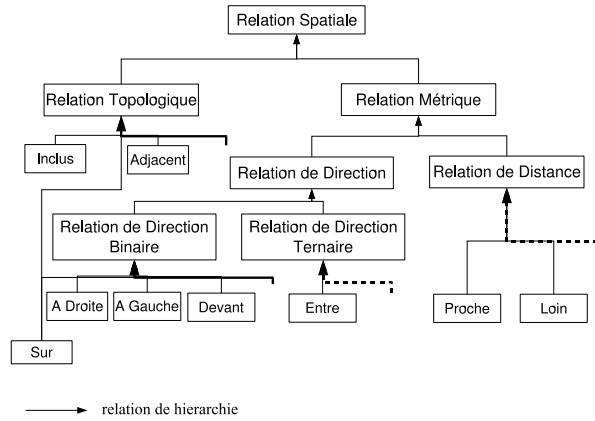


FIG. 2 – Extrait de l'organisation hiérarchique des relations spatiales dans notre ontologie. Les flèches sont des relations de spécialisation.

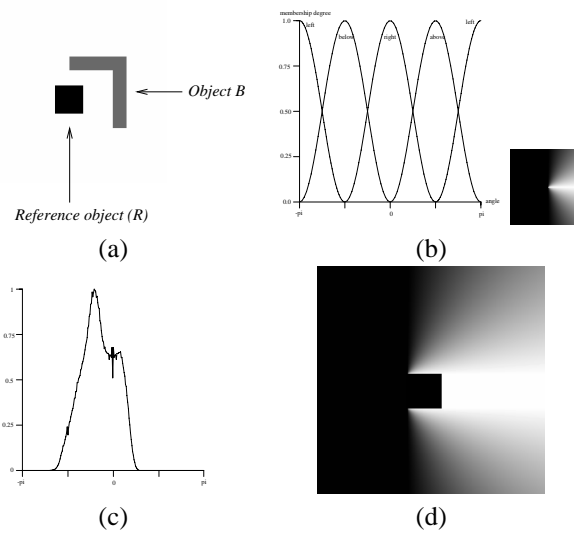


FIG. 3 – (a) Exemple de deux objets, (b) sémantique des directions sous la forme d'ensembles flous définis sur l'axe des angles et sémantique de la relation à **droite de** dans le domaine spatial sous forme d'élément structurant flou, (c) histogramme d'angle entre les deux objets, pouvant être comparé aux ensembles flous de (b), (d) dilatation floue de l'objet R (en noir sur la figure) par l'élément structurant, définissant la région à droite du carré.

d'images (Colliot et al. (2006)). Dans notre approche, le modèle générique du cerveau (c'est-à-dire l'ontologie FMA complétée par des descriptions spatiales) ainsi qu'une base de données d'images saines sont utilisés pour construire un graphe représentant la structure générique du

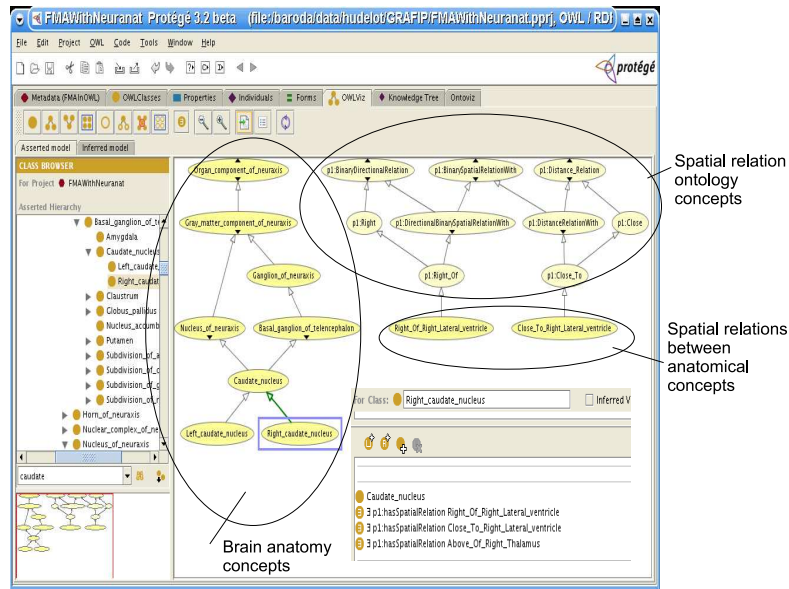


FIG. 4 – Une partie de l'ontologie de l'anatomie cérébrale (extraite de la FMA, Rosse et Mejino (2003)) enrichie avec l'ontologie de relations spatiales proposée. Les concepts de cette ontologie sont indiqués par le préfixe **pl**.

cerveau comme illustré dans la figure 1.

Ces représentations ont servi de guide à une approche séquentielle de reconnaissance des structures normales, décrite dans Colliot et al. (2006). La reconnaissance de chaque structure utilise la connaissance sur ses relations avec les structures reconnues précédemment. Cette connaissance est lue dans le graphe et exprimée sous la forme de régions d'intérêt floues dans l'image. Les structures les plus difficiles à segmenter et reconnaître sont traitées après les plus faciles, afin de disposer de plus de contraintes spatiales, dont la fusion réduit considérablement la zone de recherche. La segmentation dans cette zone est réalisée par une technique de modèle déformable intégrant les relations spatiales.

Cette approche montre comment les modèles structurels proposés, en tant que domaines de représentation intermédiaires entre descriptions symboliques et percepts numériques de l'image, permettent de répondre à la question de l'ancrage de symboles, et contribuent à la réduction du fossé sémantique.

4 Adaptation de la connaissances dans des cas pathologiques

Cependant, des cas pathologiques peuvent dévier de façon conséquente de la connaissance générique. Nous proposons un paradigme pathologie-dépendant fondé sur les informations extraites de la segmentation de la pathologie afin d'adapter la représentation de la connaissance générique ainsi que le processus de raisonnement pour tenir compte de l'influence possible

des pathologies sur l'organisation spatiale (Atif et al. (2007)). Cette adaptation repose sur les seules connaissances structurelles en examinant, pour une pathologie donnée, quelles sont les relations qui restent stables et jusqu'à quel degré elles le sont. A cette fin, nous avons conçu un cadre expérimental pour apprendre la stabilité des relations spatiales. Une base d'images constituée de cas sains et pathologiques, où les structures anatomiques principales ont été manuellement segmentées, a guidé ce processus. En outre une ontologie de tumeurs cérébrales a été créée et a guidé la classification des cas pathologiques pour en constituer une base de cas structurée, facilitant de la sorte à la fois les procédures d'apprentissage et de raisonnement à partir de cas. Le degré de stabilité résulte de la comparaison (par une M-mesure de ressemblance, selon la classification proposée par Bouchon-Meunier et al. (1996)) entre les paramètres des représentations floues des relations spatiales appris pour les cas sains et ceux appris pour les cas pathologiques.

La spécialisation de la connaissance générique au cas d'étude suit alors le schéma suivant : (i) ajout d'un nœud tumeur dans le graphe, (ii) instanciation intermédiaire du graphe en fonction du type de la pathologie (donné par l'ontologie des tumeurs) et des résultats de la phase d'apprentissage, (iii) propagation dans le graphe pour extraire et segmenter dans l'image les structures d'intérêt avoisinantes, selon la méthode développée pour les cas sains mais utilisant les représentations des relations adaptées au cas pathologique considéré. Les attributs du graphe sont ainsi mis à jour de façon progressive.

La figure 5 illustre les résultats de reconnaissance sur un cas pathologique. La tumeur est segmentée en premier lieu. Puis, à partir de ses caractéristiques, de l'ontologie des tumeurs, et des résultats de l'apprentissage sur la base de cas pathologiques, son type est déterminé, et les représentations floues des relations spatiales sont adaptées pour tenir compte de la présence de cette tumeur. La procédure de reconnaissance est ensuite appliquée pour détecter les noyaux gris centraux.

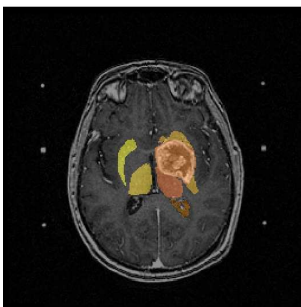


FIG. 5 – Une coupe axiale d'une image IRM 3D, avec les résultats de segmentation et de reconnaissance de la tumeur et de quelques noyaux gris centraux.

5 Adaptation du raisonnement

L'adaptation du raisonnement se fonde sur le résultat de l'adaptation de la connaissance générique ainsi que sur la stabilité des relations spatiales. Si le cas d'étude ne correspond

à aucun cas figurant dans la base d'apprentissage (on s'appuie ici sur la seule information visuelle par similarité entre images), seules les relations spatiales avec des degrés de stabilité élevés seront retenues dans la procédure de reconnaissance et de segmentation. Dans le cas contraire, le graphe qui guide cette reconnaissance est celui dérivé de la base de cas. Ce dernier code l'ordre dans lequel les objets sont recherchés, mais contrairement au cadre générique, le choix des structures à segmenter est contraint par la stabilité des relations spatiales. Cet ordre est défini soit par le maximum de degré de stabilité, soit de façon lexicographique (adjacence, orientation, distance). De plus le degré de stabilité est utilisé comme facteur de pondération lors de la fusion de plusieurs relations spatiales. Le processus de propagation s'arrête quand l'information extraite de l'image ne dévie plus ou que peu de la connaissance générique.

6 Conclusion

Nos travaux contribuent au domaine de l'interprétation d'images en associant des techniques d'intelligence artificielle à des techniques de traitement d'images et reconnaissance de structures. Nous avons ainsi proposé une ontologie de relations spatiales, que nous avons associée à une ontologie de structures anatomiques, et enrichie de modèles flous qui définissent la sémantique de ces relations pour chaque domaine d'application. Ces modèles établissent le lien entre les concepts symboliques et les informations qui peuvent être extraites des images, contribuant ainsi à réduire le fossé sémantique. Cette approche permet d'effectuer d'une part des raisonnements génériques dans l'ontologie, et d'autre part des raisonnements spatiaux, dans le domaine de l'image, adaptés à chaque cas particulier, grâce à une représentation par graphe des structures et de leurs relations spatiales. Les cas particuliers éloignés de la connaissance générique, modélisée à partir de cas normaux, sont également pris en compte, via un apprentissage permettant d'adapter la représentation, et une propagation dans la représentation par graphe permettant d'adapter le raisonnement. Nous nous attachons maintenant à démontrer plus largement le potentiel de notre approche pour la reconnaissance guidée par des modèles.

Remerciements Ce travail a été en partie financé par la région Ile-de-France, le GET et l'ANR, pendant les séjours post-doctoraux de Céline Hudelot et Jamal Atif à l'ENST.

Références

- J. Atif, C. Hudelot, G. Fouquier, I. Bloch, et E. Angelini (2007). From Generic Knowledge to Specific Reasoning for Medical Image Interpretation using Graph-based Representations. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI'07*, Hyderabad, India.
- M. Aufaure et H. Hajji (2002). Semantic Structuration of Image Annotations : A Data Mining Approach. *Multimedia Information Systems*, 38–47.
- I. Bloch (2005). Fuzzy Spatial Relationships for Image Processing and Interpretation : A Review. *Image and Vision Computing* 23(2), 89–110.
- I. Bloch et A. Saffiotti (2001). Some Similarities between Anchoring and Pattern Recognition Concepts. In *AAAI 2001 Fall Symposium on Anchoring Symbols to Sensor Data*, North Falmouth, MA, USA, pp. 75–78.

- B. Bouchon-Meunier, M. Rifqi, et S. Bothorel (1996). Towards General Measures of Comparison of Objects. *Fuzzy Sets and Systems* 84(2), 143–153.
- O. Colliot, O. Camara, et I. Bloch (2006). Integration of Fuzzy Spatial Relations in Deformable Models - Application to Brain MRI Segmentation. *Pattern Recognition* 39, 1401–1414.
- S. Coradeschi et A. Saffiotti (1999). Anchoring Symbols to Vision Data by Fuzzy Logic. In A. Hunter et S. Parsons (Eds.), *ECSQARU'99*, Volume 1638 of *LNCS*, London, pp. 104–115. Springer.
- M. d'Aquin, J. Lieber, et A. Napoli (2004). Etude de quelques logiques de description floues et de formalismes apparentés. In *Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications*, Nantes, France, pp. 255–262.
- T. R. Gruber (1993). Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. In N. Guarino et R. Poli (Eds.), *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*, Deventer, The Netherlands. Kluwer Academic Publishers.
- C. Hudelot (2005). *Towards a Cognitive Vision Platform for Semantic Image Interpretation ; Application to the Recognition of Biological Organisms*. Phd in computer science (in english), Université de Nice Sophia Antipolis.
- C. Hudelot, J. Atif, et I. Bloch (2006). Ontologie de relations spatiales floues pour l'interprétation d'images. In *Rencontres francophones sur la Logique Floue et ses Applications, LFA 2006*, Toulouse, France, pp. 363–370.
- V. Mezaris, I. Kompatsiaris, et M. G. Strintzis (2004). Region-based image retrieval using an object ontology and relevance feedback. *Eurasip Journal on Applied Signal Processing* 2004(6), 886–901.
- A. Moreno, C. Takemura, O. Colliot, O. Camara, et I. Bloch (2006). Heart Segmentation in Medical Images Using the Fuzzy Spatial Relation “Between”. In *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, IPMU*, Paris, France, pp. 2052–2059.
- G. Nagypal et B. Motik (2003). A fuzzy model for representing subjective and vague temporal knowledge ontologies. In *International Conference on Ontologies, Databases and Applications of Semantics*, Catania, Sicily, Italy.
- K. Petridis, D. Anastasopoulos, C. Saathoff, N. Timmermann, I. Kompatsiaris, et S. Staab (2006). "m-ontomat-annotizer : Image annotation. linking ontologies and multimedia low-level features. *Engineered Applications of Semantic Web Session (SWEA) at the 10th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2006)*.
- C. Rosse et J. L. V. Mejino (2003). A Reference Ontology for Bioinformatics : The Foundational Model of Anatomy. *Journal of Biomedical Informatics* 36, 478–500.
- A. Smeulders, M. Worring, S. Santini, A. Gupta, et R. Jain (2000). Content-based image retrieval at the end of the early years. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 22(12), 1349–1380.
- C. Town (2006). Ontological inference for image and video analysis. *Machine Vision and Applications* 17(2), 94–115.

Summary

In several domains of spatial reasoning, such as medical image interpretation, spatial relations between structures play a crucial role since they are less prone to variability than intrinsic properties of structures. Moreover, they constitute an important part of available knowledge. We show in this paper how this knowledge can be appropriately represented by graphs and fuzzy models of spatial relations, that enrich an ontology of anatomical structures. However

pathological cases may deviate substantially from generic knowledge and cannot be handled based on the generic model only. We propose a method to adapt the knowledge representation and the reasoning process, based on learning procedures.