

Contours actifs et apprentissage pour la détection automatique de structures dans les images : application à l'aide au diagnostic en IRM

Encadrement de la thèse : Aymeric Histace (Maître de Conférences), Frédéric Precioso (Maître de Conférences), Mai Nguyen-Verger (Professeur).

Contexte et problématique :

Ce sujet de thèse s'organise autour du thème principal de la mise en œuvre de méthodes de détection/segmentation de structures dans les images, avec pour cadre applicatif l'analyse d'images médicales (principalement acquises en Imagerie par Résonance magnétique-IRM) pour l'aide au diagnostic.

L'utilisation de ces méthodes dynamiques de détection/segmentation d'images et de vidéo est maintenant largement répandue dans les domaines du multimédia, mais leur adaptation au contexte de l'imagerie médicale, et plus précisément de la segmentation spatiale et temporelle d'organes, reste un domaine largement ouvert de par la spécificité de ce domaine applicatif et l'apparition de nouvelles modalités d'imagerie (PET-SCAN, Cone-Beam CT, IRM) pour lesquelles la qualité des images acquises rendent les méthodes classiques de détection/segmentation sous optimales. En particulier, la notion d'apprentissage, maintenant largement intégrée dans les outils classiques du multimédia, reste un champ de recherche en devenir dans le contexte du traitement d'images médicales. Dans le cadre de cette collaboration, le financement de déplacements et de séjours de travail à l'université du Central Lancashire seront assurés durant la thèse.

Ce travail de thèse pourra également bénéficier du soutien financier et scientifique du projet ECSMeN (Engineering and Computational, Science for Medical Imaging Network) actuellement déposé auprès de la « European Science Foundation » et conjointement porté par ETIS (Aymeric Histace, Frédéric Precioso) et l'ADSIP (réponse de financement : fin 2010). Ce projet de recherche intègre actuellement 14 laboratoires européens provenant de 9 pays différents et a principalement pour but la mise en place d'une plateforme européenne d'échange de connaissance dans le domaine du traitement d'image.

En termes d'axes prioritaires, ce travail de recherche se situe à l'interface des STIC et des sciences du vivant.

Objectifs :

L'objectif globale de cette thèse, consistera donc à développer une chaîne de traitement complète allant de la détection d'une zone d'intérêt spécifique dans l'image analysée à la segmentation de la/les structure(s) identifiée(s) dans cette zone d'intérêt, en s'appuyant sur la mise en place de nouvelles approches théoriques et expérimentales de détection/segmentation fondées sur l'apprentissage et l'utilisation des contours actifs [KW88, CV01, S99] basés régions (dans un cadre paramétrique ou non paramétrique), tout en tenant compte des contraintes de l'application médicale visée.

D'un point de vue fondamental, ce travail de recherche s'organisera principalement autour de 2 axes :

1. La définition de nouvelles fonctionnelles énergétiques basées région dont sera dérivée l'équation aux dérivées partielles régissant l'évolution de la position du contour actif.
2. L'analyse et l'adaptation de méthodes de reconnaissance de modèle (« Pattern Recognition ») à la segmentation d'images et la mise en place d'un formalisme variationnel reliant ces approches à la segmentation par contour actif.

Concernant l'axe n°1, un certain nombre d'approches sont proposées dans la section suivante. Une problématique générale reste la dérivation de l'EDP d'évolution du contour actif comme montré dans [JB03, H07, L09].

Au niveau de l'axe n°2, si des articles récents (voir section suivante) montrent la faisabilité de l'utilisation des méthodes d'apprentissage statistique et automatique à la segmentation d'images, un travail de fond sur la spécificité de la tâche reste à mener, en particulier sur la compréhension et l'adaptation des formalismes théoriques à la tâche visée.

Une extension des méthodes développées à la segmentation dynamique 3D au moyen des surfaces actives constituera également un objectif important du fait de l'évolution des acquisitions IRM permettant maintenant d'acquérir les données directement en 3D, voire 3D+t pour les organes contractiles tels le cœur.

D'un point de vue clinique, ce travail de thèse s'inscrira dans le cadre général de l'aide au diagnostic précoce et au suivi thérapeutique. Il s'appuiera sur une collaboration étroite avec l'Applied Digital Signal and Image Processing Research Centre (ADSIP) de l'Université du Central Lancashire (Preston, Angleterre) et avec l'Hôpital Christie de Manchester avec lesquels une collaboration effective est déjà en place [HPMZ09, ZMH09, ZMPH10]. Forts de leur longue expérience au sein du projet MEGURATH (Metrology Guided Radiotherapy) financé par l'Engineering and Physical Sciences Research Council, ces deux instituts seront à même de mettre à disposition une large base de données d'images IRM ainsi que leurs compétences, dans le domaine de la segmentation d'images médicales. Par ailleurs, des partenariats actifs avec le CHU de Reims et d'Angers [HPB10, HPMZ09, HMC09] viendront également enrichir la base de données experte IRM dans des cadres applicatifs bien ciblés (Angiographie par Résonance magnétique-ARM, étude du syndrome métabolique en IRM viscérale) et offriront des possibilités d'échanges fréquents avec des médecins experts du domaine favorisant ainsi un lien réel entre les travaux de recherche et leur mise en application dans le monde médical.

Méthodes :

Plusieurs pistes actuellement ouvertes seront envisagées dans ce travail de recherche.

Concernant l'étape de détection automatique de régions d'intérêt spécifiques par apprentissage, des résultats récents ont montré l'intérêt des méthodes de boosting dans ce contexte. En particulier, l'algorithme Adaboost [SF99] se présente comme un candidat prometteur dans le cadre de la détection automatique d'organe en imagerie médicale [ZZC07] et plus particulièrement en IRM [QMA05]. Des travaux récents réalisés à ETIS dans le cadre de la détection automatique du ventricule gauche en IRM cardiaque ont montré la faisabilité de l'approche et son intérêt quant à son intégration dans la chaîne de traitement complète (à ce jour, la détection automatique des ROI reste manuelle).

Plusieurs questions restent néanmoins très ouvertes, en particulier au niveau du choix des descripteurs faibles conduisant au classifieur fort issu de la phase d'apprentissage. Si dans la mise en œuvre originale d'Adaboost [VJ04] (dédiée à la détection automatique de visages), les filtres de Haar sont utilisés, dans le cadre de l'IRM, ce choix peut-être discuté et enrichi par des descripteurs plus adaptés (Gradient orienté (HOG), descripteur fréquentiel). Par ailleurs, la mise en place des bases de données d'apprentissage reste également un point de recherche intéressant : en effet, le contexte particulier de l'imagerie médicale se distingue des applications classiques du multimédia, par une constance plus importante des caractéristiques de la structures à segmenter (orientation, intensité des pixels, etc.). De ce fait, les bases d'apprentissage peuvent tirer bénéfices de cette plus faible variabilité, au niveau de leur taille en particulier et de leur mise en place plus généralement.

Concernant l'étape de segmentation de la structure dans la zone d'intérêt identifiée, plusieurs pistes sont envisagées. En particulier, l'intégration de modèles statistiques de l'organe à segmenter comme force d'évolution du contour actif est une piste de recherche prometteuse qu'un travail collaboratif

avec l'ADSIP a déjà permis de mettre en évidence [HMZ09, ZMPH10]. Une telle approche permet d'intégrer dans le processus de segmentation la variabilité statistique des formes de structures à segmenter. Une application concrète à la segmentation 2D et 3D de tumeurs sera un objectif applicatif du travail de thèse.

Par ailleurs, l'introduction récente des *smoothing B-splines* [FBBU05] dans le cadre de l'implantation paramétrique des contours actifs bénéficierait d'une estimation automatique de la densité de probabilité de bruit caractérisant les différents types d'images médicales [GBG04, LHM10]. En effet, la prise en compte de cette estimation dans la formulation énergétique basée région de l'équation aux dérivées partielles régissant le déplacement du contour actif pourrait permettre une relaxation locale des contraintes d'évolution de ce dernier. La segmentation des structures organiques recherchées seraient alors potentiellement perturbée de manière bien moins sensible par le bruit d'acquisition (qui reste important en imagerie médicale), parfaitement connue en IRM (bruit de type Ricien) et qui devient partie intégrante de la méthode développée.

Enfin, une approche de type « apprentissage actif » pourra également être envisagée. Le but d'une telle approche consisterait à mettre en compétition plusieurs contraintes (forme, intensité, texture...) afin d'extraire les plus pertinentes en fonction de la problématique de segmentation visée. Ce type d'approche s'intégrerait de manière très naturelle dans le contexte du traitement d'images médicales par la prise en compte explicite du savoir-faire du praticien hospitalier dans la boucle d'apprentissage, aspect primordial dans ce type d'applications.

Compétences :

Le candidat devra avoir des compétences en traitement des images, en segmentation d'images, si possible images médicales, en méthodes variationnelles, ainsi qu'en Matlab et C++. Une connaissance des méthodes d'apprentissage automatique et du boosting en particulier sera un plus certain. Une très bonne maîtrise de l'anglais sera grandement appréciée.

Bibliographie :

[CV01] T.F. Chan, L.A. Vese, "Active contours without edges", IEEE Transactions on Image Processing, 10(2):266-277, 2001.

[GBG04] P. Gravel, G. Beaudoin, J. A. De Guise, "A Method for Modeling Noise in Medical Images", IEEE Transactions On Medical Imaging, 23(10), 2004.

[H07] A. Herbulot, *Mesures statistiques non-paramétriques pour la segmentation d'images et de vidéos et minimisation par contours actifs*, Thèse de doctorat, Université de Nice, Octobre 2007.

[HMC09] A. Histace, M. Ménard, C. Cavaro-Ménard, "Selective diffusion for oriented pattern extraction: Application to tagged cardiac MRI enhancement", Pattern Recognition Letters, 30(15), pp. 1356-1365, 2009

[HMZ09] A. Histace, B. Matuszewski, Y. Zhang, "Segmentation of myocardial boundaries in tagged cardiac MRI using active contours: a gradient-based approach integrating texture analysis", International Journal of Biomedical Imaging, Vol. 2009, 2009.

[HPB10] A. Histace, C. Portefaix, B. Matuszewski, "Comparison of Different Grid of Tags Detection Methods in Tagged Cardiac MR Imaging", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Sous presse.

- [HPMZ09] A. Histace, C. Portefaix, B. Matuszewski, Y. Zhang, "Level set segmentation of extraocular muscles in MRI images for thyroid-associated-ophtalmopathy diagnosis", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery (Actes du 23ème Congrès CARS'09 (Computer Assisted Radiology and Surgery), Berlin (Allemagne), Vol. 4, Supplement 1, Juin 2009.
- [JB03] S. Jehan-Besson, *Modèles de contours actifs basés régions pour la segmentation d'images et de vidéo*, Thèse de doctorat, Université de Nice, Janvier 2003.
- [KW88] M. Kass, A.D.T. Witkin, "Snakes: active contour models". International Journal of Computer Vision, 1:321–31, 1988.
- [L09] F. Lecellier, *Les contours actifs basés région avec a priori de bruit, de texture et de forme : Application à l'échocardiographie*, Thèse de doctorat, Université de Caen, Mai 2009.
- [LMH10] L. Lamard, A. Histace, B. Matuszewski, "Contours actifs paramétriques fondés sur le calcul de distances inter histogrammes pour la segmentation d'images médicales", Actes du 16^{ème} congrès national de recherche dans les IUT, Juin 2010.
- [PBBU05] F. Precioso, M. Barlaud, T. Blu, et M. Unser, "Robust real-time segmentation of images and videos using a smooth-spline snake-based algorithm". IEEE Transactions on Image Processing, 14(7):910-924., 2005
- [QMA05] D.N. Qian, Metaxas, and L. Axel. "A learning framework for the automatic and accurate segmentation of cardiac tagged MR images", Computer Vision for Biomedical Image Applications, CVBIA05, pp 93-102, 2005
- [S99] J.A. Sethian, "Level Set Methods and Fast Marching Methods, Evolving interfaces in computational geometry, fluid mechanics, computer vision, and materials science", Cambridge University Press, 1999.
- [SF99] R. E. Shapire, Y. Freund, "A short introduction to boosting". Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, 14(5), pp 771-780, 1999.
- [VJ04] P. Viola, M. J. Jones, "Robust real-time face detection". Int. J. Comput Vision, 57(2), pp 137-154, 2004.
- [ZMH09] Y. Zhang, B. Matuszewski, A. Histace, "A fully automatic segmentation method for myocardial boundaries of left ventricle in tagged MR images", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery (Actes du 23ème Congrès CARS'09 (Computer Assisted Radiology and Surgery), Berlin (Allemagne), Vol. 4, Supplement 1, Juin 2009.
- [ZMPH10] Y. Zhang, B. Matuszewski, F. Precioso, A. Histace, "Statistical Shape Model of Legendre Moments with Active Contour Evolution for Shape Detection and Segmentation", Papier actuellement soumis à la revue Pattern Recognition Letters.
- [ZZC07] S. Zhou, J. Zhou, D. Comaniciu, "A boosting regression approach to medical anatomy detection", Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp 1-8, Minneapolis, USA, 2007.