

Propositions de stage

Interactions entre morphologie mathématique et apprentissage profond pour la segmentation de tumeurs sur des images TEP/IRM

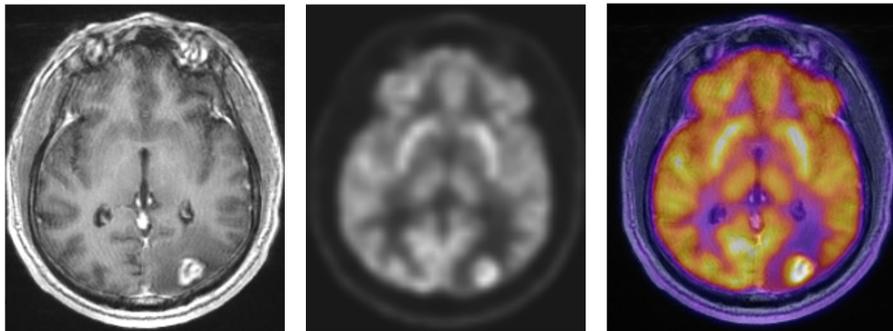
Lieu : LTCI / Télécom ParisTech (1 stage) et CMM / Mines ParisTech (1 stage)

Contexte.

Ces stages portent sur une nouvelle thématique de recherche encore très peu explorée : l'étude des **interactions entre morphologie mathématique et apprentissage profond**. En effet, le rôle fondamental de la non-linéarité en apprentissage profond reste mal formalisé et mal compris, tout en sachant que cette non-linéarité est naturelle dans le cadre de la morphologie mathématique.

Le but applicatif des stages porte une problématique d'imagerie médicale à fort impact : la segmentation précise des tumeurs en imagerie multimodale TEP/IRM.

La technique d'imagerie TEP-IRM consiste à acquérir simultanément des images par deux modalités : la Résonance Magnétique (IRM) et la Tomographie par Emission de Positons (TEP). L'IRM fournit des images de haute résolution qui montrent la structure anatomique alors que la TEP, de moindre résolution, transcrit l'activité métabolique des tissus. La combinaison de ces deux types d'information est particulièrement pertinente pour le suivi des tumeurs. La technique TEP-IRM est l'une des plus récentes parmi les méthodes multimodales, d'où la nécessité de développer des algorithmes de traitement adaptés.



Une image IRM (à gauche), l'image TEP correspondante (au centre) et la superposition des deux (à droite).

Objectif du projet.

L'apprentissage profond a déjà fait l'objet de plusieurs études dans le domaine applicatif visé et attire l'attention de la communauté d'imagerie moléculaire en médecine nucléaire, voir [Choi, 2017]. Par ailleurs, les travaux de la thèse de H. Urien serviront de référence (y compris la base de données déjà disponible) pour comparer la pertinence des méthodes. D'autres bases de données pourront permettre de tester les méthodes développées, par exemple celles du *Challenge MICCAI* <http://wmh.isi.uu.nl/> pour des lésions de la matière blanche [Xu, 2017].

Les deux sujets suivants ont été identifiés, avec une offre de stage pour chacun :

1. Réseaux neuronaux convolutifs et réseaux morphologiques.

Les réseaux de neurones convolutionnels (CNN) se sont montrés particulièrement adaptés à la classification d'objets dans les images, y compris médicales [Choi 2017]. L'expérience a orienté la communauté vers un type d'architecture privilégié, celui des réseaux profonds où des convolutions linéaires sont suivies de non linéarités (fonctions d'activation, max-pooling). Néanmoins, les mécanismes qui font le succès de ces architectures, en particulier l'équilibre entre linéarité et non linéarité, sont mal compris. De plus, l'entraînement de ces CNN requiert un grand nombre de données annotées. Le stage visera autant à transposer les performances des CNN au contexte applicatif décrit plus haut, qu'à en comprendre plus finement le fonctionnement et les limites, en comparant les réseaux convolutionnels classiques à des architectures alternatives. La première tâche consistera donc à appliquer l'approche classique par réseaux de neurones convolutionnels au problème de détection et segmentation de tumeurs dans les images TEP et IRM. Il s'agira en particulier d'adapter la stratégie au nombre limité de données d'apprentissage. Dans un second temps, deux autres architectures, inspirées de la morphologie mathématique, seront testées. L'une repose sur le perceptron morphologique [Ritter, 1996] et l'autre sur la notion de moyenne contre-harmonique [Masci, 2013]. Le perceptron morphologique est un analogue non linéaire du perceptron classique, puisqu'il effectue une convolution au sens "max-plus", où la

Propositions de stage

Interactions entre morphologie mathématique et apprentissage profond pour la segmentation de tumeurs sur des images TEP/IRM

somme est remplacée par un opérateur max, et le produit par l'addition. Des approches récentes [Charisopoulos, 2017] ont montré le potentiel de ce type de réseaux de neurones morphologiques, notamment en termes d'interprétation géométrique. La moyenne contre-harmonique est un opérateur qui, selon la valeur de son paramètre, peut être une simple convolution linéaire ou approcher asymptotiquement des opérateurs morphologiques (érosion et dilatation). Ainsi, un réseau constitué de telles unités ("Pconv layers" [Masci, 2013]) permet d'apprendre le degré de non linéarité nécessaire au traitement des données en présence.

2. Décompositions multi-échelles morphologiques et représentations efficaces par auto-encodeurs.

D'une part, les auto-encodeurs sont des réseaux de neurones utilisés en apprentissage profond non-supervisé pour construire des représentations d'un ensemble de données et construire des invariants ou d'autres modèles intrinsèques aux données. D'autre part, la théorie des semi-groupes d'opérateurs morphologiques permet de construire des décompositions des structures d'une image selon différents critères (distribution de taille des objets par rapport à une forme donnée, distribution de structures par rapport à leur contraste local de niveaux de gris, etc.). Ce type de représentations multi-échelles préserve les lignes de niveaux (les contours des objets), ce qui est important, par exemple, pour la classification ou la segmentation précise des tumeurs. Pour la problématique de classification d'images hyper-spectrales, ces représentations ont des performances similaires à celles des *scattering networks* [Franchi, 2016]. Cependant, ces représentations sont aussi généralement redondantes par la discrétisation du semi-groupe d'opérateurs correspondant. La réduction appropriée de la redondance conduit à des représentations plus pertinentes pour la classification et détection d'objets, cette réduction se faisant classiquement par des techniques linéaires (type ACP) ou des techniques multilinéaires (tensorielles), pour cette dernière voir [Velasco-Forero, 2013].

Nous proposons donc d'explorer la construction de représentations non-linéaires par auto-encodeurs à partir de décompositions morphologiques d'images TEP/IRM. L'objectif sera d'étudier les propriétés d'invariance capturées par les auto-encodeurs, dans le contexte de détection/segmentation de tumeurs. Etant donné que les décompositions morphologiques peuvent se formuler comme des résidus toujours positifs, nous étudierons en particulier la formulation et l'apprentissage d'auto-encodeurs avec la contrainte de non-négativité.

References.

- [Charisopoulos, 2017] V. Charisopoulos and P. Maragos. Morphological perceptrons: Geometry and training algorithms. In *International Symposium on Mathematical Morphology and Its Applications to Signal and Image Processing (ISMM 2017)*, pp. 3 - 15. Springer Berlin Heidelberg, 2017.
- [Choi, 2017] H. Choi. Deep Learning in Nuclear Medicine and Molecular Imaging: Current Perspectives and Future Directions, *Nuclear Medicine et Molecular Imaging*, pp. 1-10, Novembre 2017.
- [Franchi, 2016] G. Franchi, J. Angulo. A deep spatial/spectral descriptor of hyperspectral texture using scattering transform. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2016)*, pp. 3568-3572, 2016.
- [Masci, 2013] J. Masci, J. Angulo, and J. Schmidhuber. A Learning Framework for Morphological Operators Using Counter-Harmonic Mean. In *International Symposium on Mathematical Morphology and Its Applications to Signal and Image Processing (ISMM 2013)*, pp. 329-340. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [Ritter, 1996] G. X. Ritter and P. Sussner. An introduction to morphological neural networks. In *Proceedings of 13th International Conference on Pattern Recognition*, volume 4, pp. 709-717, 1996.
- [Urien, 2017] H. Urien, I. Buvat, N. F. Rougon, M. Soussan and I. Bloch. Brain lesion detection in 3D PET images using max-trees and a new spatial context criterion, In *International Symposium on Mathematical Morphology (ISMM 2017)*, Fontainebleau, France, vol. LNCS 10225, pp. 455-466, 2017.
- [Urien, 2016] H. Urien, I. Buvat, N. Rougon, S. Boughdad and I. Bloch. 3D PET-driven multi-phase segmentation of meningiomas in MRI, In *International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI'16)*, Prague, Czech Republic, pp. 407-410, 2016.
- [Velasco-Forero, 2013] S. Velasco-Forero, J. Angulo. Classification of hyperspectral images by tensor modeling and additive morphological decomposition. *Pattern Recognition*, 46(2), 566-577, 2013.
- [Xu, 2017] Y. Xu, T. Géraud, E. Puybareau, I. Bloch, and J. Chazalon. White Matter Hyperintensities Segmentation In a Few Seconds Using Fully Convolutional Network and Transfer Learning, In *MICCAI 2017*.

Candidatures : à envoyer (en format pdf) à isabelle.bloch@telecom-paristech.fr et jesus.angulo@mines-paristech.fr

- CV détaillé
- Liste des cours de master suivis et résultats obtenus
- Lettre de motivation