

Offre de thèse 2024-2027

Réseaux de neurones sur graphes, apprentissage profond guidé par des connaissances a priori et entropie pour l'analyse d'images utilisant des informations structurelles multivues : application à l'imagerie médicale et aux lésions cérébrales précoces

Encadrants: Pr. Jean Baptiste Fasquel, Pr. Anne Heurtier and newly recruited assistant professor

Laboratoire: [ISISV](#) teams of the « Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes » (LARIS), Angers University

Collaboration: University Hospital of Angers

Mots-clés: apprentissage profond, réseaux de neurones sur graphes, multivues/multigraphes, connaissances expertes, entropie, vision par ordinateur, imagerie médicale.

Début de thèse: September/October 2024

Contrat: Financement 100% Université d'Angers (3-ans), 2100 euros bruts / mois

Contact: Jean-Baptiste.Fasquel@univ-angers.fr

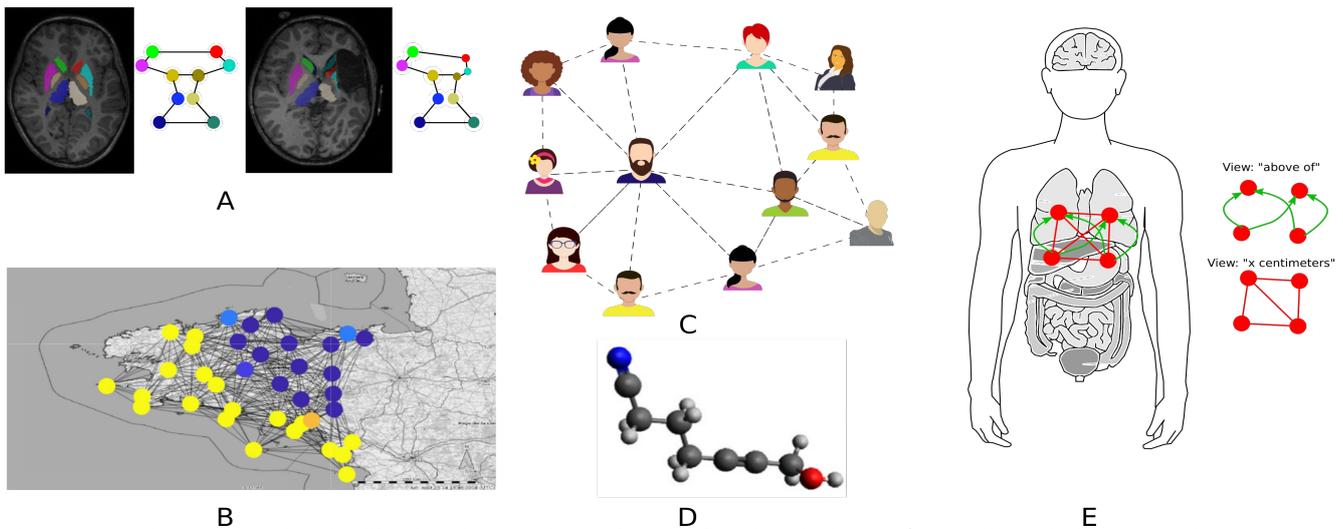


Figure 1: Quelques exemples d'utilisation des graphes : dans le domaine de la santé, avec les relations entre les structures anatomiques (A, E), en météorologie avec les réseaux de stations météorologiques (B), dans les réseaux sociaux (C), en chimie (D), y compris les vues multiples (E).

Contexte

Les réseaux neuronaux sur graphes (GNN) sont des outils puissants pour analyser des données structurées de manière irrégulière (comme l'illustre la figure 1 : relations entre les personnes dans les réseaux sociaux, associations biochimiques en chimie/sciences des matériaux, relations spatiales entre les régions en vision par ordinateur [wan23]) [bac20]. L'étude proposée se concentre principalement sur les GNN, en utilisant les notions d'apprentissage profond en multi-vue et avec l'intégration de connaissances expertes. Les vues multiples permettent de modéliser des informations riches et hétérogènes, qui sont difficiles à exploiter, comme le soulignent les travaux récents relatifs aux multigraphes (chaque graphe étant une vue particulière) [cha22,cha23]. Dans le domaine de la vision par ordinateur, il peut s'agir de diverses relations hétérogènes conduisant à diverses topologies de graphes (figure 1-E - avec des arêtes orientées et non orientées). L'apprentissage profond guidé par des connaissances expertes ("informed deep learning") est un sujet nouveau et intéressant en intelligence artificielle concernant la capacité d'intégrer des connaissances physiques/des connaissances expertes dans des méthodes basées sur l'apprentissage profond [ben24,che23,lop23,mor23]. En imagerie médicale, les connaissances expertes peuvent correspondre à la connaissance de l'anatomie du corps humain (par exemple les relations spatiales entre les organes dans l'imagerie médicale - Figure 1-A, E). L'intégration de ce type de connaissances dans la conception des GNN pourrait contribuer à limiter et à simplifier leur entraînement, à améliorer leur généralisation et leur précision, et à permettre leur entraînement sur des ensembles de données plus petits. Ces connaissances peuvent être, par exemple, intégrées au niveau de l'opérateur de convolution ou dans la fonction de coût d'un GNN. Il convient de noter que ces connaissances peuvent également être utilisées pendant l'inférence, pour moduler la décision prise par un GNN.

Objectif, approche proposée et positionnement par rapport aux recherches de l'équipe ISISV.

L'objectif principal de ce projet de recherche est de trouver une méthode permettant de combiner les informations multivues et les connaissances expertes en l'analyse d'images guidée par les informations structurelles [ben24,cho24,wan23]. Deux tâches seront considérées : la classification de nœuds pour la segmentation d'images et la régression. En ce qui concerne la régression, deux objectifs sont considérés. Le premier objectif concerne la prédiction de la fonction motrice de la main des enfants après un accident vasculaire cérébral néonatal à partir d'une modélisation des structures anatomiques cérébrales sur forme de graphe[cou24b]. Le second objectif est lié à la quantification, par un GNN, de l'irrégularité d'un graphe (Figure 1-A : le graphe de droite est moins régulier que celui de gauche). Cela correspond au calcul de son entropie. L'application sous-jacente est liée à la corrélation entre cette mesure d'entropie guidée par un GNN et la fonction motrice de la main mentionnée précédemment. Ce travail sera basé sur l'état de l'art ainsi

que sur des travaux de recherche récents de l'équipe ISISV, sur la segmentation guidée par les graphes en utilisant l'appariement des graphes et les GNN [cho23,cou24a], sur la régression basée sur les GNN pour la prédiction de la fonction motrice de la main après un accident vasculaire cérébral néonatal [cou24b], et sur les mesures d'entropie [gau22,gau23]. En utilisant le calcul d'entropie basé sur le GNN, on s'attend, en particulier, à réduire le temps de calcul. Bien que ce travail de recherche vise à fournir des méthodes génériques applicables sur divers ensembles de données synthétiques et réels, l'application principale visée correspond à la prédiction de la fonction motrice de la main à partir de diverses modalités d'imagerie (IRM, DTI, fMRI).

Compétences: traitement d'images, apprentissage profond, graphes, Python, Pytorch.

Bibliographie:

- [bac20] D. Bacciu, F. Errica, M. Alessio, M. Podda, "A gentle introduction to deep learning for graphs", *Neural Networks*, 2020.
- [ben24] F. E. Benkirane, N. Crombez, V. Hilaire, Y. Ruichek, Hybrid AI for panoptic segmentation: An informed deep learning approach with integration of prior spatial relationships knowledge, *Computer Vision and Image Understanding*, 2024.
- [cha22] N. Chaari, M. A. Gharsallaoui, H. C. Akdağ, I. Rekik, Multigraph classification using learnable integration network with application to gender fingerprinting, *Neural Networks*, 2022
- [cha23] N. Chaari, H. C. Akdağ, I. Rekik, Comparative survey of multigraph integration methods for holistic brain connectivity mapping, *Medical Image Analysis*, 2023.
- [che23] S. Chen, A. Wulamu, Q. Zou, H. Zheng, L. Wen, X. Guo, H. Chen, T. Zhang, Y. Zhang, MD-GNN: A mechanism-data-driven graph neural network for molecular properties prediction and new material discovery, *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 2023
- [cho23] J. Chopin, J.-B. Fasquel, H. Mouchère, R. Dahyot, Isabelle Bloch, Model-based inexact graph matching on top of DNNs for semantic scene understanding, *Computer Vision and Image Understanding*, 2023.
- [cou24a] P. Coupeau, J.-B. Fasquel, M. Dinomais, On the use of GNN-based structural information to improve CNN-based semantic image segmentation, Submitted to *Journal of Visual Communication and Image Representation* (in minor revision), 2024,
- [cou24b] P. Coupeau, J. Démas, J.-B. Fasquel, L. Hertz-Pannier, S. Chabrier, M. Dinomais, Hand function after neonatal stroke: A graph model based on basal ganglia and thalami structure, *NeuroImage: Clinical*, 2024
- [gau22] A. S. Gaudêncio, M. Hilal, J. M. Cardoso, A. Humeau-Heurtier, P. G. Vaz, Texture analysis using two-dimensional permutation entropy and amplitude-aware permutation entropy, *Pattern Recognition Letters*, 2022
- [gau23] A. S. Gaudêncio, H. Azami, J. M. Cardoso, P. G. Vaz, A. Humeau-Heurtier, Bidimensional ensemble entropy: Concepts and application to emphysema lung computerized tomography scans, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2023
- [lop23] P. A. López, H. Mella, S. Uribe, D. E. Hurtado, F. S. Costabal, WarpPINN: Cine-MR image registration with physics-informed neural networks, *Medical Image Analysis*, 2023
- [mor23] J. P. Morgan, A. Paiement, C. Klinke, Domain-informed graph neural networks: A quantum chemistry case study, *Neural Networks*, 2023.
- [wan23] Y. Wang, H. Peng, Y. Xiong, H. Song, Spatial relationship recognition via heterogeneous representation: A review, *Neurocomputing*, 2023