

Proposition de Projet de recherche doctoral (PRD)
École Doctorale Informatique, Télécommunications et Électronique - ED130

Intitulé du projet de recherche doctorale (PRD) :

Analyse d'images par des méthodes d'intelligence artificielle en radiologie interventionnelle

Directeur de thèse porteur du projet :

NOM : Pinna

Prénom : Andrea

Titre : Maître de conférences, HDR

e-mail : andrea.pinna@sorbonne-universite.fr

Unité de Recherche :

Intitulé : Laboratoire d'Informatique de Sorbonne Université (LIP6) UMR7606

Co-diretrice :

NOM : Bloch

Prénom : Isabelle

Titre : Professeur des Universités

e-mail : isabelle.bloch@sorbonne-universite.fr

Unité de Recherche :

Intitulé : Laboratoire d'Informatique de Sorbonne Université (LIP6) UMR7606

Co-directeur :

NOM : Szewczyk

Prénom : Jérôme

Titre : Professeur des Universités

HDR : oui

e-mail : szewczyk@isir.upmc.fr

Unité de Recherche :

Intitulé : Institut Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR) UMR 7222

Description du projet de recherche doctoral :

1. Contexte, objectif scientifique :

Cette thèse porte sur l'IA hybride, où l'on cherche à **combiner des données et des connaissances** pour résoudre **simultanément plusieurs types de tâches**, donc deux verrous importants que nous souhaitons lever. En interprétation d'images, il s'agira de simultanément détecter et reconnaître des objets, en utilisant à la fois des observations (images) et des connaissances a priori ou expertes.

Le cadre applicatif privilégié est celui de la cholangiopancréatographie rétrograde par voie endoscopique (CPRE), une procédure thérapeutique principalement destinée au traitement des affections biliaires, en particulier dans le cas de cancers [2,3]. C'est un geste endoscopique interventionnel mini-invasif réalisé par voie orale au moyen d'un endoscope à vision latérale placé dans le duodénum et de divers instruments de cathétérisme (appelés ancillaires) pour la navigation dans l'arbre biliaire : fil guide, cathéter... Environ 78 000 CPRE sont pratiquées en France chaque année (<https://www.livre-blanc-cnp-hge.fr/>). Deux obstacles majeurs impactent significativement le succès du geste et donc la prise en charge du patient : (1) L'anatomie de l'arbre bilio-pancréatique est extrêmement variable d'un patient à l'autre et, dans 1 cas sur 5, l'abord de l'arbre biliaire (canulation) et la progression sont difficiles, avec un risque de complication sévère (pancréatite aiguë), ou d'échec du geste de CPRE dans son objectif primaire. (2) L'interprétation de l'anatomie biliaire lors du geste de CPRE, réalisée uniquement sous contrôle radiographique 2D, est complexe notamment en cas de sténoses biliaires au niveau du canal hépatique commun, du hile hépatique ou des canaux hépatiques gauche ou droit. En raison de ces difficultés, l'opérateur est souvent dans l'incertitude quant à la localisation de ses instruments ancillaires par rapport au site visé et ne s'aperçoit pas toujours immédiatement d'une erreur de navigation. Il n'est pas rare que le manque de repère visuel compromette la décision diagnostique, les prélèvements anatomopathologiques et l'objectif de drainage des voies biliaires.

Le but de cette thèse est de développer des méthodes avancées d'Intelligence Artificielle (IA) pour la localisation en temps réel 3D des ancillaires de CPRE et leur reconnaissance, en exploitant les connaissances sur l'anatomie et sur la forme des ancillaires. Ce cadre applicatif pose donc les deux types de problèmes que nous souhaitons résoudre du point de vue théorique et méthodologique, et il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode répondant à ces questions.

Concrètement, nous voulons mettre à disposition de l'opérateur, dans le contexte de sa pratique habituelle, une scène 3D fusionnant un modèle numérique des voies biliaires du patient et une représentation des instruments en cours d'utilisation. Disposer d'un tel outil de localisation numérique constituera un saut qualitatif des conditions opératoires de la CPRE. Cette thèse bénéficiera d'une collaboration étroite avec l'hôpital Saint-Antoine (équipe d'endoscopie digestive interventionnelle, Marine Camus, MCU-PH) [2].

2. Approche scientifique :

La collaboration avec l'hôpital Saint-Antoine permettra de rassembler une base d'images radiographiques prises en cours de CPRE et annotées. Pour chaque image, l'annotation consistera à extraire (manuellement) la forme de l'ancillaire visible et à indiquer le secteur de l'arbre biliaire associé ("vérité terrain").

L'assistance à la décision que nous souhaitons mettre au point repose sur une comparaison entre la forme instantanée de l'ancillaire dans l'image radiographique et une base de formes de référence annotées. Une fois la détection et la reconnaissance effectuées et le secteur d'intérêt identifié, l'information sur la localisation de l'instrument sera fusionnée avec un modèle anatomique 3D spécifique au patient pour être mis à disposition de l'opérateur.

Pour la détection de l'ancillaire dans les images 2D, nous proposons une méthode par réseau de neurones prenant en compte des informations a priori.

L'introduction des informations a priori sur la forme reposera sur la base de formes de référence, par exemple en les mettant en concurrence lors de la prédiction. Cette idée permettra de réaliser simultanément la détection et l'identification de l'ancillaire, chaque tâche servant à guider et faciliter l'autre.

Enfin la mise en correspondance entre la forme en 2D et le modèle en 3D du patient s'appuiera sur des travaux antérieurs menés à l'ISIR, et sera revue avec les nouveaux résultats de détection et reconnaissance développés dans cette thèse.

L'évaluation pourra être réalisée sur des données simulées, ainsi que sur des données réelles, en interaction avec les experts médicaux. L'apport de l'approche pourra être aussi évalué par comparaison avec d'autres méthodes par apprentissage profond dans des domaines proches, qui font principalement de la détection [1,4], ou traitent plusieurs tâches mais successivement [5], et toujours par des méthodes guidées principalement par les données.

L'approche proposée relève des axes de recherche prioritaires de l'institut SCAI (Sorbonne Center Artificial Intelligence), du point de vue théorique et méthodologique avec de nouvelles propositions en IA guidée par des connaissances, et donc des résultats explicables. Du point de vue applicatif, avec un domaine d'enjeu majeur dans le domaine de la santé il s'inscrit également dans les activités des l'institut IUIS (Institut Universitaire d'ingénierie en Santé) à Sorbonne Université.

3. Liste de publications en lien avec le projet :

- [1] P. Ambrosini, et al. Fully Automatic and Real-Time Catheter Segmentation in X-Ray Fluoroscopy. In: MICCAI, LNCS 10434, pp. 577-585, 2017.
- [2] A. Becq, M. Camus, et al. Direct cholangioscopy for diagnosis and treatment guidance of suspected biliary papillomatosis with malignant transformation. *Endoscopy*, 2020, 52, E3-E4.
- [3] M. Hidalgo. Pancreatic cancer. *N Engl J Med*, 362:1605–1617, 2010.
- [4] M. Gherardini, et al. Catheter segmentation in X-ray fluoroscopy using synthetic data and transfer learning with light U-nets. *Comput Methods Programs Biomed.* 192:105420, 2020.
- [5] Y.-J. Zhou, et al. A Real-time Multi-functional Framework for Guidewire Morphological and Positional Analysis in Interventional X-ray Fluoroscopy. *IEEE Trans. on Cognitive and Developmental Systems*, 2020.

4. Profil étudiant recherché :

Diplôme de master ou équivalent en informatique et intelligence artificielle. Des connaissances en analyse d'images seront un atout supplémentaire. Le candidat devra aussi montrer une forte motivation pour les applications dans le domaine médical.