



école doctorale sciences pour l'ingénieur et microtechniques

Titre de la thèse : Réalité augmentée basée sur les caractéristiques de l'image dans la chirurgie mini-invasive de l'oreille

Laboratoire d'accueil : ImViA

Spécialité du doctorat préparé :

Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques

Mots-clefs :

Réalité augmentée, chirurgie mini-invasive, oreille moyenne, oreille interne, réseau neuronal convolutif, apprentissage profond, traitement d'image, recalage d'imagerie multi-modale, navigation peropératoire

Descriptif détaillé de la thèse :

Introduction : La chirurgie de l'oreille moyenne se fait sous microscope ou par un endoscope. L'oreille moyenne est souvent abordée par le conduit auditif externe après incision du conduit et décollement du tympan. Nous avons développé un système de réalité augmentée pour superposer une reconstruction de la caisse du tympan à partir des données du scanner sur une image vidéo (2D) du microscope ou de l'endoscope (1, 2). En effet, l'endoscopie virtuelle de l'oreille moyenne basée sur les données scanographiques donne une image précise proche de la scène opératoire (3). Nous utilisons un recalage manuel des images en utilisant des repères anatomiques. Des algorithmes de traitement de l'image ont été développés pour maintenir la correspondance entre les deux images lors des mouvements du microscope. Ce système permet également de visualiser les structures cibles dans l'oreille interne et invisible par le microscope ou l'endoscope (4). Nous avons déjà testé le système en temps réel au laboratoire (3) et au bloc opératoire (Hussain et al, soumis pour publication). Son fonctionnement et son niveau de précision inframillimétrique semblent compatibles avec la chirurgie otologique. Des projets de réalité augmentée ont été développés dans la chirurgie de la tête du cou, mais à notre connaissance, aucun projet de ce type n'a été publié pour la chirurgie de l'oreille (5).

Travaux envisagés : Nous allons développer ce système de réalité augmentée selon plusieurs axes :

1- Développement d'un système de recalage semi-automatique puis automatique

Le recalage actuel nécessite la sélection de 6 paires de points sur les images vidéo et scanner-X (reconstruction de la caisse du tympan par une modélisation de la scène suivant une endoscopie virtuelle) par le chirurgien. Il s'agit d'une tâche difficile car les images ne sont pas similaires et l'erreur à ce stade se propage à tout le processus. Nous allons développer des algorithmes de recalage qui utilisent des contours de référence. Le chirurgien dessinera des contours des structures visibles sur les deux images et, par des algorithmes de type k proches voisins ou analyse fractale (distances de Hausdorff), les contours seront recalés. Actuellement une base de données de plus de 70 cas est disponible avec le scanner-X, l'imagerie vidéo et les annotations.

2- Développement d'un système automatique de recalage par réseau de neurones

Un réseau neuronal sera développé pour reconnaître et extraire des contours puis les recalés grâce aux algorithmes précédemment cités. Une banque de vidéo-endoscopie et de scanner, avec annotations sera conçue partant de la base de données disponibles à l'étape précédente et des stratégies d'augmentation de données et d'apprentissage par transfert seront appliquées pour

l'entraînement du réseau. Des réseaux convolutionnels à base de Spatial Transformers (6), entraînés par apprentissage supervisé ou non supervisé, seront étudiés, ainsi que la possibilité d'améliorer leur robustesse par le design de fonctions de coût innovantes dédiées à la problématique.

3- Développement d'un système de réalité augmentée en 3D

Jusqu'ici le développement a été poursuivi sur des images 2D. Or, des informations 3D sont fournies par le microscope (2 axes optiques indépendants correspondant aux 2 yeux) et le scanner (fichier Dicom en 3D). Une reconstruction 3D serait très utile pour certaines procédures. L'extraction des informations scannographiques 3D sur les structures cibles seraient recalées en temps réel sur 2 flux vidéos acquis sur les 2 axes optiques. Ces étapes seront testées au laboratoire sur des modèles en résine, puis des pièces anatomiques et enfin au bloc opératoire.

Dans une étape ultérieure, ce système est destiné à être intégré à un robot de chirurgie otologique (Robotol, Collin SA, Bagneux France). Une collaboration dans ce sens a été initiée depuis un an.

Références bibliographiques :

- 1- Guigou C, Bardin F, Afifi WS, Dillenseger JP, Ricolfi F, Grayeli AB. Virtual Endoscopy to Plan Transtympanic Approach to Labyrinthine Windows. *Otol Neurotol*. 2015 Sep;36(8):1338-42. doi: 10.1097/MAO.0000000000000808.
- 2- Marroquin R, Lalande A, Hussain R, Guigou C, Bozorg Grayeli A. Augmented Reality of the Middle Ear Combining Otoendoscopy and Temporal Bone Computed Tomography. *Otol Neurotol*. 2018 Sep;39(8):931-939. doi: 10.1097/MAO.0000000000001922.
- 3- Hussain R, Lalande A, Marroquin R, Guigou C, Bozorg Grayeli A. Video-based augmented reality combining CT-scan and instrument position data to microscope view in middle ear surgery. *Sci Rep*. 2020 Apr 21;10(1):6767. doi: 10.1038/s41598-020-63839-2.
- 4- Hussain R, Lalande A, Berihu Girum K, Guigou C, Bozorg Grayeli A. Augmented reality for inner ear procedures: visualization of the cochlear central axis in microscopic videos. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2020 Oct;15(10):1703-1711. doi: 10.1007/s11548-020-02240-w.
- 5- Hussain R, Lalande A, Guigou C, Bozorg-Grayeli A. Contribution of Augmented Reality to Minimally Invasive Computer-Assisted Cranial Base Surgery. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2020 Jul;24(7):2093-2106. doi: 10.1109/JBHI.2019.2954003. Epub 2019 Nov 18.
- 6- Jaderberg M, Simonyan K, Zisserman A, Kavukcuoglu K. Spatial Transformer Networks. *NIPS* 2015

Profil demandé : Étudiant Master II, avec compétences en vision par ordinateur, intelligence artificielle, imagerie médicale et programmation (notamment en Python).

Financement : MESRI établissement

Dossier à envoyer pour le : 31 mai 2021 (contact : Alain Lalande, alain.lalande@u-bourgogne.fr)
Début du contrat : octobre 2021

Direction / codirection de la thèse :

Direction : Alexis Bozorg Grayeli

Co-encadrement : Sarah Leclerc, Alain Lalande



école doctorale sciences pour l'ingénieur et microtechniques

PhD title: Augmented Reality Based on Image Features in Minimally Invasive Ear Surgery

Host laboratory : ImViA

PhD Speciality:

Physical Sciences for Engineers and Micro techniques

Keywords:

Augmented reality, Minimally Invasive Surgery, Middle ear, Inner ear, Convolutional Neural Networks, Deep Learning, Image Processing, Multi-modal image registration, Intraoperative Navigation

Project Description:

Background: Ear surgery is routinely conducted under microscopic or endoscopic vision. Target structures are situated behind the tympanic membrane and are often approached through the external auditory canal after skin incision and tympanic membrane elevation. We have developed an augmented reality (AR) system by overlaying a reconstruction of the middle ear contents based on high-resolution temporal bone CT-scan on the 2D video obtained from the microscope or the endoscope (1, 2). Indeed, the virtual endoscopy function based on DICOM data provides a precise image of this region similar to the surgical scene (3). Currently, we use manual matching of anatomical features on both images to obtain the video to CT-scan registration. Then, image processing algorithms maintain correspondence between CT and video during intraoperative movements of the microscope or the endoscope (2, 3). This system allows visualizing the middle ear structures behind the tympanic membrane, and the inner ear structures deeply seated in the temporal bone (4). We have already evaluated this system in real-time in the laboratory (3) and operating room conditions (Hussain R et al., submitted for publication). The system workflow, its speed and precision are compatible with ear surgery in comparison to conventional navigation systems. It does not require external fiducial markers or additional imaging before surgery. Other augmented reality projects have been reported in the field of head and Neck surgery, but to our knowledge, no project in the field of otology has been published (5).

Project: We aim to develop this augmented reality system in the following directions:

1- Semi-automatic video to CT-scan registration

The current process requires the manual selection of 6 corresponding points on the initial frame of the video and on the virtual endoscopy image (from Ct-scan). This task is difficult since the similarities between the images are low. The registration error can easily propagate through the whole process. We are going to develop a contour-based registration. Defining the contours of the most visible landmarks on both images is much easier. By mathematical algorithms such as k nearest neighbors or fractal analysis (Hausdorff distance) the best correspondence will be approached, and the CT scan image will be warped on the video frame. Currently a database of more than 70 cases is available in our team, with CT-scan, video and annotations.

2- Fully automatic video to CT scan registration from neural networks

A convolutional neural network will be developed to identify and extract the contours on both images and the registration will follow with the algorithms cited above. The system will be trained on a series of endoscopic videos and CT scans from patients (the dataset developed in the previous step will be upgraded with new cases). Transfer learning and data augmentation algorithms will be employed. Convolutional Neural Networks based on Spatial Transformers (6) will be investigated, trained either with supervised or unsupervised learning. Robustness improvement will be sought through the regularization effect brought by specific and innovative loss functions, dedicated to the task.

3- Design and development of a 3D AR system

Up to now, the development has been carried out on a 2D video feed. 3D data are available from both the microscope (2 independent optical axes) and CT scan data. 3D information is crucial in several procedures. In this part, we will extract the 3D dicom information from the CT-scan, register it on both video inputs and recreate a coherent AR on both video channels to obtain a 3D AR projected on a screen in real-time. These steps will be evaluated on resin models, human anatomical specimen and finally in operating room conditions.

In a further step, this system will be integrated to surgical robot dedicated to ear surgery (Robotol, Collin SA, Bagneux, France). A collaboration has been initiated with this industrial partner.

References:

- 1- Guigou C, Bardin F, Afifi WS, Dillenseger JP, Ricolfi F, Grayeli AB. Virtual Endoscopy to Plan Transtympanic Approach to Labyrinthine Windows. *Otol Neurotol*. 2015 Sep;36(8):1338-42. doi: 10.1097/MAO.0000000000000808.
- 2- Marroquin R, Lalande A, Hussain R, Guigou C, Bozorg Grayeli A. Augmented Reality of the Middle Ear Combining Otoendoscopy and Temporal Bone Computed Tomography. *Otol Neurotol*. 2018 Sep;39(8):931-939. doi: 10.1097/MAO.0000000000001922.
- 3- Hussain R, Lalande A, Marroquin R, Guigou C, Bozorg Grayeli A. Video-based augmented reality combining CT-scan and instrument position data to microscope view in middle ear surgery. *Sci Rep*. 2020 Apr 21;10(1):6767. doi: 10.1038/s41598-020-63839-2.
- 4- Hussain R, Lalande A, Berihu Girum K, Guigou C, Bozorg Grayeli A. Augmented reality for inner ear procedures: visualization of the cochlear central axis in microscopic videos. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2020 Oct;15(10):1703-1711. doi: 10.1007/s11548-020-02240-w.
- 5- Hussain R, Lalande A, Guigou C, Bozorg-Grayeli A. Contribution of Augmented Reality to Minimally Invasive Computer-Assisted Cranial Base Surgery. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2020 Jul;24(7):2093-2106. doi: 10.1109/JBHI.2019.2954003. Epub 2019 Nov 18.

Candidate Profile: Master II student, with skills in image processing, artificial intelligence, medical imaging and programming (in particular in Python).

Financing Institution: MESRI établissement

Application deadline: 31 may 2021 (contact : Alain Lalande, alain.lalande@u-bourgogne.fr)

Start of contract: October 2021

Supervisor(s):

Director : Alexis Bozorg Grayeli

Co-Supervisors : Sarah Leclerc, Alain Lalande