

## **Titre : Suivi de trajectoire par vision robuste aux erreurs de modélisation**

Directeur(s) de Thèse : nom(s), grade(s) Florent NAGEOTTE, Maître de Conférences HDR

Unité(s) d'Accueil(s) : UMR 7357, ICube

Établissement de rattachement : Université de Strasbourg

Collaboration(s) (s'il y a lieu) : /

Rattachement à un programme (s'il y a lieu) : /

### Résumé :

Les tâches automatiques en robotique médicale sont couramment réalisées dans les domaines de la chirurgie orthopédique ou de la radiothérapie, mais très peu en chirurgie digestive. Une des difficultés est la gestion des erreurs de modèles des robots de chirurgie mini-invasive, notamment causées par les transmissions à câbles. Même dans le cas de mouvements réalisés en boucle fermée sous le retour d'une caméra endoscopique, les déplacements sont souvent imprécis, lents et peu naturels, ce qui limite fortement l'intérêt de l'automatisation.

Dans ce travail de thèse, on propose de développer un nouveau paradigme pour le contrôle d'instruments chirurgicaux robotisés sous le retour de caméras endoscopiques. Plutôt que d'essayer d'améliorer les comportements par des modélisations fines, nous proposons d'intégrer dans la réalisation des tâches des incertitudes sur les mouvements des instruments. En contrepartie, on acceptera de ne pas réaliser exactement la tâche en autorisant des marges de précision. L'objectif général est de pouvoir réaliser des mouvements plus fluides tout en obtenant des précisions similaires à un contrôle manuel.

Du point de vue applicatif, nous nous intéresserons à des tâches de traitement par laser en endoscopie flexible robotisée. Les endoscopes flexibles ont des comportements complexes et variables dans le temps et fonction de leurs conditions d'utilisation et sont donc de très bons candidats à l'application des méthodes que l'on souhaite développer.

## Descriptif du sujet

### **Suivi de trajectoire par vision robuste aux erreurs de modélisation**

L'automatisation de tâches chirurgicales est une problématique clé de la recherche en robotique médicale. Les objectifs et intérêts sont multiples, allant de la diminution de la charge cognitive pour le chirurgien à l'augmentation de la précision de réalisation.

De telles approches existent sous forme de systèmes commerciaux dans le domaine de la chirurgie orthopédique (ISS Robodoc), ou de la radiothérapie (Accuray Cyberknife). Elles permettent de réaliser avec précision des tâches pré-planifiées, telles que des positionnements, des perçages ou des fraisages. Le chirurgien reste acteur de la procédure par un rôle de supervision et d'analyse des images médicales.

Toutefois, dans le domaine de la chirurgie digestive, l'automatisation de gestes est loin d'avoir atteint le même niveau de maturité. Au niveau commercial, seules des tâches très simples de centrage ou de repositionnement d'endoscopes (Transenterix/MST Autolap, commercialisation interrompue) ont pour l'instant été proposées.

En revanche, dans les laboratoires, de nombreux travaux sont menés en particulier autour de la suture [Liu16, Shademan16], un geste réputé très difficile dans les conditions minimalement invasives. En chirurgie digestive, la réalisation de mouvements robotisés nécessite un capteur per-opératoire, en raison de la quasi-impossibilité de planifier les mouvements élémentaires de la chirurgie à partir d'images pré-opératoires (déformations et mouvements des tissus en particulier). Les caméras endoscopiques monoculaires ou stéréoscopiques sont les capteurs privilégiés pour ces applications. L'utilisation d'un capteur per-opératoire permet de réaliser les tâches en boucle fermée ce qui peut théoriquement permettre une très grande précision de positionnement. Toutefois, même les travaux récents d'automatisation conduisent à des réalisations simples [Zhang21, Pedram21] éloignées de ce que peuvent réaliser des chirurgiens dans des modes de télémanipulation plus conventionnels. Une des raisons réside dans les erreurs de modèles des instruments endoscopiques robotisés et leur comportement complexe. La planification n'est alors pas réalisée parfaitement, ce qui crée des mouvements des instruments dans des directions non souhaitées. Les fréquences d'acquisition des images endoscopiques sont insuffisantes pour corriger ces problèmes au vol. Dans le cas de tâches de précision, les asservissements en mode point par point conduisent alors à des mouvements lents et peu naturels. Pourtant, l'utilisation du même matériel en mode téléopéré montre qu'un opérateur humain connaissant la tâche à réaliser et ayant conscience des défauts du système robotique est capable d'obtenir des trajectoires plus rapides et plus lisses.

Dans ce travail de thèse, on propose de développer un nouveau paradigme pour le contrôle d'instruments chirurgicaux robotisés sous le retour de caméras endoscopiques. Plutôt que d'essayer d'améliorer les comportements par des modélisations fines, ce qui s'avère délicat en particulier en endoscopie flexible, nous proposons d'intégrer dans la réalisation des tâches des incertitudes sur les mouvements des instruments. En contrepartie, on acceptera de ne pas réaliser exactement la tâche en autorisant des marges de précision. Les marges pourront par exemple être définies à partir de démonstrations obtenues avec le même système robotique en mode téléopéré. L'idée générale est ainsi de pouvoir réaliser des mouvements plus fluides, plus rapides et plus naturels tout en obtenant des précisions similaires à un contrôle manuel.

Du point de vue applicatif, nous nous intéresserons à des tâches de traitement par laser en endoscopie flexible robotisée (découpe ou ablation), voir figure 1 ci-dessous. Les endoscopes flexibles ont des comportements complexes et variables dans le temps et fonction de leurs conditions d'utilisation et sont donc de très bons

candidats à l'application des méthodes que l'on souhaite développer. Les méthodes de traitement par laser présentent de multiples intérêts, tels que la non-nécessité de contact avec les tissus et la possibilité de visualiser les zones traitées par une projection laser. Pour ce faire, le laboratoire ICube dispose de plusieurs systèmes endoscopiques robotisés permettant de déplacer un laser de puissance fibré.

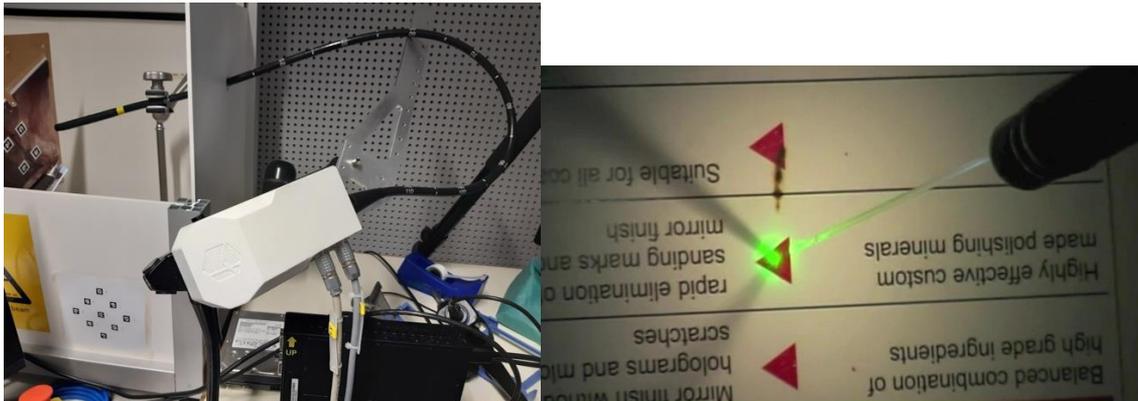


Fig. 1. A gauche un endoscope flexible robotisé et à droite une découpe par laser réalisée en laboratoire avec ce même endoscope

**Mots clés** : Robotique médicale, asservissement visuel, commande robotique, endoscopie flexible

### Références

[Liu16] T. Liu, M.C. Çavuşoğlu. "Needle Grasp and Entry Port Selection for Automatic Execution of Suturing Tasks in Robotic Minimally Invasive Surgery", *IEEE Trans Autom Sci Eng.* Avril 2016, vol. 13(2), pp. 552-563. doi: 10.1109/TASE.2016.2515161.

[Pedram21] S. Pedram, C. Shin, P. Ferguson, J. Ma, E. Dutson et J. Rosen, "Autonomous Suturing Framework and Quantification Using a Cable-driven Surgical Robot", *Transactions on Robotics*, vol. 37(2), pp. 404-417, avril 2021.

[Zhang21] Z. Zhang, B. Rosa, O. Caravaca Mora, P. Zanne, M. Gora, F. Nageotte, "Image-Guided Control of an Endoscopic Robot for OCT Path Scanning", *IEEE Robotics and Automation Letters*, pages 5881 - 5888, Vol. 6 (3), juin 2021, doi:10.1109/LRA.2021.3087085

[Shademan16] A. Shademan, R. S. Decker, J. D. Opfermann, S. Leonard, A. Krieger et P. C. W. Kim, "Supervised autonomous robotic soft tissue surgery", *Science Translational Medicine*, Mai 2016

### Environnement de travail :

- Le doctorant travaillera à la plateforme de robotique médicale de l'équipe RDH du laboratoire ICube localisée sur le site de l'hôpital civil (centre de Strasbourg)
- Le doctorant aura accès aux systèmes de robotique endoscopique de l'équipe RDH

### Encadrement :

Florent Nageotte, Maître de Conférences, HDR.

Equipe RDH, laboratoire ICube

**Contact** : Nageotte@unistra.fr