

Sujet soutenu par le LABEX CAMI, <http://cami-labex.fr/>

Lieu de la thèse: partagé entre ICube (Strasbourg) et FEMTO-ST (Besançon).

Directeurs de thèse : Pierre Renaud (PU INSA, pierre.renaud@insa-strasbourg.fr)
Nicolas Andreff (PU UFC, nicolas.andreff@femto-st.fr)

Co-encadrement: Kanty Rabenorosoa (MCU ENSMM, FEMTO-ST)

Date de démarrage: Octobre 2016

Le projet de thèse est centré sur le développement de robots médicaux à tubes concentriques à actionnement hybride, par un travail conjoint de MiNaRob, AS2M, FEMTO-ST, Besançon et AVR, ICube, Strasbourg.

Contexte

Les robots continus sont des robots pour lesquels les mouvements sont obtenus par déformations continues d'une structure mécanique dont l'actionnement est généralement réalisé de manière déportée. Dans le contexte médical, l'usage de tels robots doit permettre de naviguer dans des environnements complexes sur le plan anatomique, une tâche qui reste délicate aujourd'hui. Des travaux ont été initiés dans ce sens, qui se développent autour de trois classes de robots continus : les robots à tubes concentriques (RTC) préalablement courbés, les robots par actionneurs fléchissants et les robots à actionnement par tendons ou câbles. Des limitations subsistent telles que : la limite à la miniaturisation, l'impossibilité à avoir une forme complexe (par exemple, plusieurs courbures), le compromis entre la distance maximale entre la partie proximale et la partie distale et l'effort/mouvement transmis et enfin la présence de non linéarités. La classe des RTC est particulièrement intéressante dans ce contexte de miniaturisation. En effet, les RTC sont formés à partir de tubes précourbés insérés les uns dans les autres, les mouvements étant obtenus usuellement par translations et rotations relatives des tubes. La simplicité de l'architecture est un atout, mais aujourd'hui leurs performances en terme de navigation ne sont pas pleinement satisfaisantes. Une des raisons est la complexité de leur comportement, qui dépend des interactions mécaniques entre les tubes. Une autre raison est intrinsèque au mode de pilotage par mouvements relatifs entre les tubes, réalisé depuis l'extérieur du patient : un tel actionnement proximal ne fournit par une dextérité optimale, et son intégration reste pénalisante pour la compacité des dispositifs.

Le travail de thèse proposé se place dans le cadre d'une collaboration entre FEMTO-ST et ICube, initiée par le projet NEMRO (Endoscopie Nasale par OCT microrobotisée : impact du déficit olfactif sur les maladies

neurodégénératives). Au sein d'ICube, l'équipe AVR développe depuis plus de 10 ans une activité en robotique médicale reconnue au plan international, en s'appuyant notamment sur des compétences en conception mécatronique et en commande robotique. L'équipe MiNaRoB de FEMTO-ST, créée en 2012, développe pour sa part une activité de recherche unique en France dans le domaine de la microrobotique médicale. Les deux équipes disposent de plateformes expérimentales complémentaires, qui permettent la conception, la fabrication et l'intégration de prototypes à l'échelle macro- et microscopiques.

L'équipe AVR fait partie du Labex CAMI (Computer Assisted Medical Interventions), lancé en 2012 et regroupant 6 laboratoires français impliqués dans le développement d'assistance aux gestes médicaux et chirurgicaux. L'équipe MiNaRob s'est rapprochée de ce Labex, et en est aujourd'hui une équipe satellite, et dans le même temps pilote le Démonstrateur 4 du Labex ACTION.

Objectifs

Le travail de thèse proposé vise à augmenter les performances des RTC pour palier leurs limites actuelles, en développant des RTC à actionnement hybride, i.e. dont l'actionnement est à la fois déporté et embarqué, avec des technologies et stratégies d'actionnement originales. Ainsi, une approche d'actionnement hybride sera considérée, en intégrant à la fois un actionnement proximal, hors du patient, et distal, au niveau de l'extrémité du système robotique. Le dispositif envisagé est en ce sens à la croisée d'approches développées dans [1] et [2]. Les avancées récentes sur les polymères électroactifs (diélectriques et/ou ioniques) rendent ces matériaux actifs particulièrement d'intérêt pour réaliser l'actionnement distal. La géométrie et la forme des tubes (structuration) seront optimisées afin d'éliminer le "snapping" et assurer un déploiement stable. On pourra également envisager l'utilisation de tubes obtenus par fabrication additive et favorisant ainsi l'utilisation à usage unique.

L'actionnement déporté peut bénéficier des travaux récents de l'équipe AVR sur l'actionnement fluide flexible, qui permet de disposer de solutions compactes, sûres pour un contexte médical. Les solutions, développées notamment en s'appuyant sur la fabrication additive, vont pouvoir ici être exploitées pour proposer un actionnement déporté d'un niveau de compacité bien supérieur à l'existant.

L'actionnement embarqué va lui s'appuyer sur les travaux en cours au sein de MiNaRob sur l'intégration de polymère électro-actifs et l'asservissement visuel biomédical pour piloter localement les mouvements d'un RTC. Le travail de thèse va en conséquence comporter trois volets :

- l'élaboration d'une solution globale d'actionnement d'un RTC en combinant ces deux technologies. Un travail de conception mécatronique et micro-mécatronique devra être réalisé dans un premier temps. Dans un deuxième temps il s'agira de s'intéresser à la commande de l'ensemble, une approche nouvelle dans ce contexte avec un actionnement de type micro/macro.
- l'optimisation de la structure des tubes à la base d'un RTC. Un RTC a un domaine de travail qui peut être limité par l'existence de zone d'instabilités, avec des phénomènes de snapping à proscrire en contexte médical. Une structuration des tubes, i.e. une modification de leur géométrie peut permettre de limiter ce phénomène. Il s'agira ici de s'intéresser à la conception de structures optimales et à leur réalisation.
- l'exploitation dans la commande des RTC développés d'informations extéroceptives, grâce au retour visuel pouvant être exploité pour une navigation sans contact dans une cavité.

— le développement d'un prototype et l'analyse des performances en conditions réalistes.

La thèse se déroulera à parts égales entre Strasbourg, durant les 18 premiers mois, et Besançon pour les 18 mois suivants.

Profil requis

Le profil requis est celui d'un étudiant en master 2 ou élève ingénieur en dernière année ayant une formation en mécanique ou mécatronique. Il (elle) doit être à l'aise sur l'utilisation de logiciels de CAO de type Solid-Works ou Catia. Il(elle) doit également maîtriser la programmation, C/C++ et Matlab afin de pouvoir simuler et commander le prototype. Il (elle) aura de bonnes capacités d'expression écrite en français et en anglais. Ouvert d'esprit, il (elle) sera amené(e) à travailler en équipe et doit être capable de communiquer aisément. A l'écoute, dynamique et persévérant pour mener un travail de recherche sur 3 ans.

Contacts

Nicolas ANDREFF, FEMTO-ST, Professeur des Universités à l'Université de Franche-Comté

Nicolas.andreff@femto-st.fr , 03.81.40.29.61

Pierre RENAUD, ICube, Professeur des Universités à l'INSA de Strasbourg

Pierre.renaud@insa-strasbourg.fr , 03.88.11.91.47

Modalités de candidature

Les candidats devront envoyer une lettre de motivation, un CV et leur relevés de notes (M1 et M2 ou 4ème et 5ème années universitaires) sous forme de fichier unique en PDF aux adresses suivantes : nicolas.andreff@femto-st.fr et pierre.renaud@insa-strasbourg.fr

Références

[1] R. J. III Webster, J. M. Romano, , and N. J. Cowan. Mechanics of precurved-tube continuum robots. IEEE Transactions on Robotics, 25 :67–78, 2009.

[2] S. Bousquet and J. Szewczyk. Steerable structure of catheter or endoscope. No US/2009/0079821, 2009.