



Titre de la thèse/Thesis title : Conception, optimisation et commande par vision d'un robot à actionnement magnétique pour la coloscopie

Laboratoire d'accueil / Host Laboratory : ImViA/FEMTO-ST

Spécialité du doctorat préparé/Speciality : Sciences Fondamentales, Appliquées et Technologie

Mots-clefs / Keywords : Robotique médicale, asservissement visuel, mécatronique, actionnement magnétique, commande basée apprentissage

Descriptif détaillé de la thèse / Job description

En 2020, plus de 48 000 cas de cancer colorectal ont été diagnostiqués en France et plus de 2 millions dans le monde, le taux de guérisons dépendant du stade du cancer [1,2,3]. En effet, le diagnostic précoce permet de guérir plus de 90% des cas ce qui permettrait de sauver plus de 43 000 patients par an [1,2,3]. Cependant, la réalisation de dépistage systématique du cancer colorectal à partir de 50 ans augmenterait le nombre de coloscopies à réaliser, ce qui représente un défi majeur en termes de moyens matériels et humains et d'acceptabilité par les patients.

Pendant l'examen, le praticien introduit le coloscope dans le rectum du patient puis l'enfonce jusqu'à atteindre toutes les zones à observer. Le coloscope, plus ou moins flexible, s'appuie sur les parois de l'intestin pour se déformer et progresser dans le côlon. La force exercée par le praticien et les pressions de l'endoscope exercées sur le côlon provoquent des désagréments insupportables pour les patients et parfois des lésions. Les récents développements sur les endoscopes actionnés magnétiquement ont démontré qu'ils pourraient réduire les désagréments, les coûts, renforcer les capacités de diagnostic et améliorer les interventions thérapeutiques [4]. Bien que prometteuse, l'utilisation d'endoscopes actionnés magnétiquement pour un usage clinique est confrontée à des défis de conception et de contrôle d'autant importants que le côlon est un environnement non structuré et dynamique, soumis à des variations notables, et contenant des obstacles tels que des plis tissulaires, de l'eau et des débris.

La spécificité du contrôle magnétique est qu'il est très instable car il ne permet pas de générer un point d'équilibre stable. En effet, si la rotation est contrôlable grâce à l'orientation des lignes de champs, le contrôle de la position est plus problématique. La raison est que les éléments magnétiques sont systématiquement attirés vers l'aimant ou repoussés par lui. Le coloscope magnétique (c.-à-d. le robot) se trouve ainsi systématiquement plaqué contre les parois de l'intestin. Même si les pressions exercées sont inférieures à celles exercées par les endoscopes classiques, les forces de frottement avec les parois de l'intestin perturbent la progression et le contrôle du coloscope et provoquent des désagréments pour le patient. Le point clé de la solution proposée est la génération d'un point d'équilibre stable en position et en orientation grâce à la combinaison de plusieurs actionneurs magnétiques et une force extérieure (cordon d'attache utilisé aussi pour l'alimentation en énergie et le transfert d'informations). Les résultats préliminaires obtenus par les laboratoires ImViA et FEMTO-ST ont démontré qu'il était possible de contrôler la position et l'orientation d'un robot magnétique grâce à cette approche (résultats obtenus par un étudiant d'un Master EIPHI poursuivant une thèse en lien avec ce projet) [6,7]. Le coloscope pourra ainsi progresser dans le côlon dans la direction désirée sans exercer de pression sur les parois des intestins. Le travail doctoral en relation avec ce sujet de thèse se fera en collaboration avec le CHU de Besançon du service chirurgie viscérale et digestive. Il s'intéressera à deux problématiques :

- L'optimisation d'un système d'actionnement par champ magnétique permettant le déplacement et le positionnement avec précision du coloscope dans l'ensemble du tube digestif. Cette partie s'appuiera sur le travail d'une thèse en cours.

- La modélisation et la commande : développement d'outils génériques permettant de modéliser et contrôler des systèmes complexes basés IA. Cette étape inclut la validation expérimentale sur Phantom et organes ex-vivos.

Job description

In 2020, more than 48,000 cases of colorectal cancer were diagnosed in France and more than 2 million worldwide, the cure rate depending on the stage of the cancer [1,2,3]. Indeed, early diagnosis makes it possible to cure more than 90% of cases, which would save more than 43,000 patients per year [1,2,3]. However, carrying out systematic exams for colorectal cancer from the age of 50 would increase the number of colonoscopies to be performed, which represents a major challenge in terms of material and human resources and patient acceptability.

During the examination, the colonoscope is introduced into the patient's rectum and then pushed down until all the areas to be observed are reached. The colonoscope, more or less flexible, relies on the walls of the intestine to deform and progress through the colon. The force exerted by the doctor and the pressures of the endoscope exerted on the colon cause unbearable inconvenience for the patients and sometimes injuries. Recent developments in magnetically actuated endoscopes have demonstrated that they could reduce inconvenience, cost, enhance diagnostic capabilities and improve therapeutic interventions [4]. Although promising, the use of magnetically actuated endoscopes for clinical use is confronted with design and control challenges which are all the greater since the colon is an unstructured and dynamic environment, subject to notable variations, and containing obstacles such as tissue folds, water and debris.

The specificity of magnetic control is that it is very unstable because it does not generate a stable point of equilibrium. Indeed, if the rotation is controllable thanks to the orientation of the field lines, the control of the position is more problematic. The reason is that the magnetic elements are systematically attracted towards the magnet or repelled by it. The magnetic colonoscope (i.e. the robot) is thus systematically pressed against the walls of the intestine. Even if the pressures exerted are lower than those exerted by conventional endoscopes, the forces of friction with the walls of the intestine disturb the progress and the control of the colonoscope and cause inconvenience for the patient. The key point of the proposed solution is the generation of a stable point of equilibrium in position and in orientation thanks to the combination of several magnetic actuators and an external force (tether cord also used for power supply and information transfer). The preliminary results obtained by the ImVIA and FEMTO-ST laboratories demonstrated that it was possible to control the position and the orientation of a magnetic robot thanks to this approach [6,7]. The colonoscope will thus be able to progress through the colon in the desired direction without exerting pressure on the walls of the intestines. The doctoral work in relation to this thesis subject will be done in collaboration with the Besançon University Hospital of the visceral and digestive surgery department. It will focus on two issues:

- The optimization of a magnetic field actuation system allowing the precise movement and positioning of the colonoscope throughout the digestive tract. This part will be based on the work of a thesis in progress.
- Modeling and control: development of generic tools to model and control complex AI-based systems. This step includes experimental validation on Phantom and ex-vivos organs.

Références bibliographiques

- [1] Joseph, D. A. et al. Colorectal cancer screening: estimated future colonoscopy need and current volume and capacity. *Cancer* 122, 2479–2486 (2016).
- [2] Comas, M., Mendivil, J., Andreu, M., Hernandez, C. & Castells, X. Long-term prediction of the demand of colonoscopies generated by a population-based colorectal cancer screening program. *PLoS ONE* 11, e0164666 (2016).
- [3] Bray, F. et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J. Clin.* 68, 394–424 (2018).
- [4] Abbott, J. J., Diller, E. & Petruska, A. J. Magnetic methods in robotics. *Annu. Rev. Control Robot. Auton. Syst* 3,
- [5] T. Cheng, W. Li, W. Y. Ng, Y. Huang, J. Li, S. H. Ng, P. W.-y. Chiu, and Z. Li, Deep Learning Assisted Robotic Magnetic Anchored and Guided Endoscope for Real- Time Instrument Tracking, *IEEE RAL* (2021).
- [6] A. Zarrouk, K. Belharet, and O. Tahri. "Calibration of magnetic platform prototype for vision-based drugs delivery inside human cochlea." *IEEE IROS* 2017.

[7] A. Zarrouk, K. Belharet, and O. Tahri. Vision-based magnetic actuator positioning for wireless control of microrobots. Robotics and Autonomous Systems (124) 2020.

Profil recherché

Compétences :

- Robotique / Mécatronique
- Vision par ordinateur
- Automatique
- Matlab, C++

Qualités humaines :

- Candidat(e) motivé(e), autonome et créatif(ve)
- Sens de l'initiative, de l'organisation et de la communication

Financement : UBFC (Contrat doctoral ?)

Dossier à envoyer pour le **2 juin 2023**

Début du contrat : 1^{er} Octobre 2023

Directeur de thèse

Omar TAHRI

omar.tahri@u-bourgogne.fr

Co-directeur :

Redwan DAHMOUCHE

redwan.dahmouche@femto-st.fr

Applicants are invited to submit their application to the PhD supervisors.

Application must contain the following documents:

- CV
- Cover letter
- At least 1 reference letter