

Modélisation et Contrôle Optimal de Nageurs Magnétiques Flexibles Bas Nombre de Reynolds

Yacine EL ALAOUI-FARIS, INRIA Sophia-Antipolis/ ISIR, Sorbonne-Université

Les micro-nageurs robotiques permettent d'effectuer des opérations petite échelle telles que l'administration ciblée de médicaments et la chirurgie peu invasive. En raison de la difficulté de miniaturiser des sources d'énergie internes, les méthodes d'actionnement externes sont préférables aux sources intégrées, une stratégie populaire étant l'aimantation du nageur ou d'une de ses parties et son actionnement avec des champs magnétiques externes. L'étude qui suit se concentre sur les micro-nageurs magnétiques flexibles qui imitent les cellules flagellées comme les spermatozoïdes dans leur conception et leur mode de locomotion. Le but de ce travail est d'appliquer des outils numériques de modélisation et de contrôle optimal aux nageurs expérimentaux de l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR), notamment celui présenté dans [1]. La première étape a été le développement d'un modèle dynamique 3D d'un nageur magnétique flexible, basé sur l'approximation des forces hydrodynamiques en utilisant la Resistive Force Theory [2] et la discrétisation de la courbure et de l'élasticité du flagelle, généralisant les modèles dits "N-link swimmer" planaires tels que celui de [3]. Ce modèle a été validé sur les données expérimentales du nageur de [1], une identification des paramètres hydrodynamiques et élastiques du modèle permettant d'avoir un nageur simulé qui présente les mêmes caractéristiques de propulsion (notamment la réponse fréquentielle du nageur) que celles mesurées. Après cette validation, le problème de contrôle optimal consistant à trouver le champ magnétique périodique qui permet de faire avancer le nageur magnétique le plus rapidement possible a été résolu numériquement avec une méthode directe. La forme de champ trouvée a été implémentée dans le dispositif expérimental de l'ISIR et augmente par un facteur presque deux la rapidité de nage comparé aux champs sinusodaux communément utilisés pour actionner ce genre de nageurs.

Références

- [1] A. OULMAS, N. ANDREFF, AND S. RÉGNIER, *International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). 3D Closed-Loop Motion Control of Swimmer with Flexible Flagella at Low Reynolds Numbers*. IEEE, 2017.
- [2] J. GRAY AND GJ HANCOCK, *Journal of Experimental Biology. The propulsion of sea-urchin spermatozoa*. 1955.
- [3] F. ALOUGES, A. DESIMONE, L. GIRALDI, AND M. ZOPPELLO, *Soft Robotics. Can magnetic multilayers propel artificial microswimmers mimicking sperm cells?* , 2015