

Synthèse de lois de commande bio-inspirées à impédance variable pour interaction avec l'environnement dans des tâches rythmiques

Mots clés (fr) : robotique ; contrôle moteur humain ; commande bio-inspirée ; impédance variable

Début de thèse prévisionnel : 01/10/2022

Localisation : CentraleSupélec - Campus Paris-Saclay (Gif-sur-Yvette)

Encadrants : Pedro Rodriguez-Ayerbe (directeur, CentraleSupélec – L2S), Maria Makarov (CentraleSupélec – L2S), Isabelle Siegler (Univ. Paris-Saclay, CIAMS)

Contexte

Ce projet de recherche se positionne à l'interface entre l'Automatique et les Sciences du mouvement humain (neurosciences). Il vise à modéliser le contrôle du membre supérieur humain dans un geste sensorimoteur rythmique finalisé, à savoir la frappe cyclique de balle. Cette modélisation contribue d'une part à la compréhension du mouvement humain et à son analyse à l'aide d'outils de l'automatique, et d'autre part au développement de stratégies de commande bio-inspirées innovantes pour des systèmes robotiques anthropomorphes en interaction avec l'environnement, pour des applications en co-manipulation et assistance robotique.

Ce projet de recherche s'inscrit dans le cadre d'une collaboration scientifique entre des enseignants-chercheurs du L2S (CentraleSupélec, CNRS, Université Paris-Saclay) et du CIAMS (Université Paris-Saclay). Les deux équipes sont partenaires dans l'axe thématique « Homme artificiel bio-inspiré » de la Structure Fédérative FedeV des Sciences du Mouvement (<http://fedev.universite-paris-saclay.fr/>).

Travaux antérieurs

Ce projet s'appuie sur les travaux réalisés dans le cadre de deux thèses passées. La thèse interdisciplinaire (IDI2014, FCS Paris-Saclay) de Guillaume Avrin [**Avrin2017**] a permis de proposer, pour la tâche « benchmark » de frappe cyclique de balle, un modèle comportemental innovant fondé sur un oscillateur de Matsuoka, jouant le rôle de réseau spinal rythmique (Central Pattern Generator, CPG). Une analyse de stabilité asymptotique est menée pour le système dynamique hybride défini par le couplage entre le système neuro-musculo-squelettique et la balle [**Avrin2016-ACC, Avrin2017-ICINCO**]. La pertinence du modèle a été validée par comparaison aux données expérimentales [**Avrin2017-JNP**]. L'architecture de contrôle proposée reproduit efficacement les patrons de mouvement observés chez les personnes valides, y compris lorsque la tâche est soumise à des variations paramétriques (accélération gravitationnelle, coefficient de restitution du système balle-raquette). La thèse de Vincent Fortineau [**Fortineau2020, Fortineau2021**] a permis d'étudier, via l'estimation de l'impédance mécanique, le couplage physique humain robot lors de cette tâche. Une variation des paramètres d'impédance du bras humain a été mise en évidence au cours du cycle de la tâche.

Objectifs de la thèse

Dans le cadre de cette thèse on souhaite analyser du point de vue de l'automatique les propriétés de la boucle fermée de la tâche cyclique hybride (modélisée dans thèse de G. Avrin) en présence de variations d'impédance du bras humain (mises en évidence dans la thèse de V. Fortineau), pour en extraire des principes utilisables pour la synthèse de lois de commande bio-inspirées pour la robotique interactive.

Le travail interdisciplinaire s'articulera autour de deux axes thématiques principaux :

1. Comprendre le contrôle moteur humain : affiner les expériences sur participants humains afin d'analyser plus en détail les variations d'impédance du bras humain observées dans la thèse de V. Fortineau. En particulier, on pourra affiner le modèle de simulation du rebond de balle pour le rendre plus réaliste, et d'autre part planifier des expériences pour l'analyse de l'impédance du bras humain dans des situations spécifiquement contrôlées pour tester des modèles de variations d'impédance et valider les hypothèses associées. On pourra en particulier utiliser le banc expérimental précédemment développé et constitué d'un bras robotique KUKA youBot équipé d'un capteur d'effort, d'une caméra de capture de mouvement 3D Optitrack V12:Trio, et d'un environnement virtuel pour la simulation du rebond de balle.

2. Développer des lois de commande robotiques : dans l'objectif de synthèse de commande bio-inspirée à impédance variable, on se propose dans un premier temps d'analyser du point de vue théorique les propriétés de la boucle fermée constituée du modèle développé dans la thèse de G. Avril (tâche de rebond de balle modélisée par un système dynamique hybride, modèle comportemental de mouvement rythmique humain fondé sur un CPG représenté par un oscillateur non linéaire de Matsuoka), augmenté avec le modèle de variation d'impédance du bras humain. Dans un second temps, sur la base de cette analyse, on cherchera à proposer une structure générale de commande robotique et une méthode de synthèse associée pour tâches hybrides interactives avec variation d'impédance.

Profil et compétences recherchées

- Automatique : automatique classique et avancée, stabilité de systèmes non linéaires
- Robotique : des connaissances antérieures en robotique de manipulation (modèle dynamique, commande) serait un plus mais ne constitue pas de prérequis spécifique, mise à niveau possible en début de thèse
- Intérêt pour les sciences du mouvement, capacité à se positionner sur une thématique fortement interdisciplinaire (automatique – robotique – sciences du mouvement humain), esprit de synthèse
- Capacité à présenter les résultats techniques en français et en anglais, à l'écrit comme à l'oral
- Goût pour l'expérimentation

Candidature sur Adum : faire parvenir

- Un CV
- Une lettre de motivation
- Les relevés de notes de votre cursus de master et/ou d'ingénieur
- Une lettre de recommandation du responsable de master
- Les coordonnées de deux personnes référentes.

Contact :

- Pedro Rodriguez-Ayerbe : pedro.rodriquez@centralesupelec.fr
- Maria Makarov : maria.makarov@centralesupelec.fr
- Isabelle Siegler : isabelle.siegler@universite-paris-saclay.fr

Références

[Avrin2017] Guillaume Avrin. "Modélisation du contrôle moteur humain lors de tâches rythmiques hybrides et application à la commande de robots anthropomorphes". Thèse soutenue le 04/10/2017. ED 566 Sciences du sport, de la motricité et du mouvement humain (2S2MH). Co-directeurs : Isabelle A. Siegler (CIAMS), Pedro Rodriguez-Ayerbe (L2S).

[Avrin2017-JNP] Guillaume Avrin, Isabelle Anne Siegler, Maria Makarov, Pedro Rodriguez-Ayerbe. "Model of rhythmic ball bouncing using a visually controlled neural oscillator". *Journal of Neurophysiology*. 9 Aug. 2017, DOI: 10.1152/jn.00054. 2017

[Avrin2017-ICINCO] G. Avrin, M. Makarov, P. Rodriguez-Ayerbe, I. A. Siegler. "Dynamic stability of repeated agent-environment interactions during the hybrid ball-bouncing task". ICINCO 2017. Spain, Madrid, July 26-28, 2017

[Avrin2016-ACC] G. Avrin, M. Makarov, P. Rodriguez-Ayerbe, I. A. Siegler. "Particle Swarm Optimization of Matsuoka's oscillator parameters in human-like control of rhythmic movements". American Control Conference (ACC). Boston, MA, USA, 6-8 Juillet 2016. DOI: 10.1109/ACC.2016.7524938.

[Erden and Billard 2015] Erden MS, Billard A (2015) End-Point Impedance Measurements Across Dominant and Nondominant Hands and Robotic Assistance with Directional Damping. *IEEE Trans Cybern* 45:1146–1157. doi: 10.1109/TCYB.2014.2346021

[Fortineau20] Fortineau, V., Makarov, M., Rodriguez-Ayerbe, P., & Siegler, I. A. (2020, August). Interactive robotics for human impedance estimation in a rhythmic task. In *2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (pp. 1043-1048).

[Fortineau21] Fortineau, V., Makarov, M., Rodriguez-Ayerbe, P., & Siegler, I. A. (2021, August). Towards a seamless experimental protocol for human arm impedance estimation in an interactive dynamic task. In *2021 30th IEEE International Conference on Robot & Human Interactive Communication (RO-MAN)* (pp. 31-36).

[Tsuji et al. 2008] Tsuji T, Tanaka Y (2008) Bio-mimetic Impedance Control of Robotic Manipulator for Dynamic Contact Tasks. *Robot Auton Syst* 56:306–316. doi: 10.1016/j.robot.2007.09.001

[Keemink et al 2018] A. Q. Keemink, H. van der Kooij et A. H. Stienen "Admittance control for physical human–robot interaction". *The International Journal of Robotics Research* 37.11, p. 1421-1444. issn : 0278-3649, sept. 2018.