

Sujet de thèse

Titre de la thèse : Méthodes de commande par jumeaux numériques de systèmes robotiques rapides fonctionnant à l'intérieur d'un microscope électronique

Directeur de thèse: Stéphane Régnier, Professeur à Sorbonne Université

Encadrant de thèse : Mokrane Boudaoud, Maître de Conférences à Sorbonne Université

Collaboration dans le cadre de la thèse : Institut Femto-st. et Laboratoire de Simulation Interactive au CEA-List

Laboratoire d'accueil : ISIR (*Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique*), Campus Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, 75005 Paris.

Personne à contacter

Prénom Nom : Mokrane Boudaoud

Email : mokrane.boudaoud@sorbonne-universite.fr

Envoyer votre candidature par mail, avec [sujet de la thèse] en objet, un CV détaillé, une lettre de motivation, des relevés de notes (master ou équivalent) et les coordonnées (nom, institution, adresse électronique) de deux personnes de référence. Documents à envoyer dans un format zippé.

Date limite de dépôt de la candidature : 17 mai 2022

Description du sujet (en français)

Contexte :

Ce sujet de thèse s'inscrit dans le cadre de la robotique de très haute précision pour l'instrumentation scientifique au sein d'un Microscope Electronique à Balayage (MEB). Le MEB offre la possibilité de guider par vision électronique les instruments (effecteurs) d'un système robotique avec une résolution supérieure à celle des microscopes optiques. La résolution de ces derniers est limitée par la diffraction de la lumière et atteint une limite typique de l'ordre de quelques centaines de nanomètres. Un MEB peut aller bien au-delà de cette limite offrant la possibilité d'effectuer des commandes référencées vision de systèmes robotiques opérants dans des régions d'intérêt à l'échelle du nanomètre [Shi et al. 2016]. Cette technologie est particulièrement prometteuse notamment pour la manipulation robotique et la caractérisation multimodale d'échantillons aux très petites échelles, e.g. nanostructures, nanomatériaux, cellules biologiques. Toutefois, les approches historiques, fondées sur une microscopie électronique caractérisée par une vision planaire et une faible fréquence d'acquisition, limitent considérablement l'exploitation de l'environnement tridimensionnel des MEB, la vitesse d'exécution des tâches robotiques référencées vision, et les capacités d'automatisation. Par ailleurs, les tâches robotiques rapides se heurtent à la nécessité d'une maîtrise des forces d'interaction aux très petites échelles entre les instruments robotiques et l'environnement.

Description du projet :

Dans ce contexte, le projet ANR DyNaBot vise à étudier en profondeur le paradigme de la génération de mouvements robotiques dans les MEB pour l'exécution de tâches rapides et sûres dans un environnement tridimensionnel. Cette approche, qui est disruptive à cette échelle, vise

Sous la co-tutelle de :

notamment à dépasser l'état de l'art en proposant des méthodes de commande par jumeaux numériques de systèmes robotiques dotés de capteurs de force actifs. Le sujet de thèse portera notamment sur (i) la proposition et l'étude d'un jumeau numérique pour l'observation et la visualisation tridimensionnelle (3D) de l'environnement de travail ainsi que la prédiction des états du système robotique pour aller au-delà des limites de fréquence d'acquisition des MEB lors de commandes référencées vision, (ii) l'étude de la problématique du contact entre les instruments d'un système robotique rapide et son environnement en utilisant des capteurs de force actifs à impédance variable et (iii) la proposition de commandes référencées vision électronique et exploitant le jumeau numérique pour la génération de mouvements robotiques dans un MEB. Le cadre applicatif portera sur l'analyse et la manipulation d'échantillons biologiques hydratés par un système robotique polyarticulé au sein d'un MEB environnemental¹.

Objectif scientifique :

L'objectif de cette thèse est de développer des méthodes de génération de mouvements robotiques rapides et de commande en force au sein d'un microscope électronique en s'appuyant sur un asservissement visuel en microscopie électronique à balayage, un retour capteur (force, position, vitesse) et un jumeau numérique de la plateforme robotique. Le jumeau numérique aura deux principaux apports : une observation et visualisation tridimensionnelle de l'espace de travail et une prédiction des états du robot.

Profil recherché :

La candidate ou le candidat devra être titulaire d'un master ou d'un diplôme équivalent dans le domaine de la robotique ou de la mécatronique ou de l'automatique avec de bonnes compétences dans au moins un de ces domaines.

Compétences requises :

Robotique ou mécatronique ou automatique avec de bonnes compétences dans au moins un de ces domaines. Une expérience préalable dans le domaine des jumeaux numériques n'est pas indispensable. La candidate ou le candidat devra avoir un goût prononcé pour les développements méthodologiques et expérimentaux.

Plus d'informations (résultats attendus, environnement, équipements, compétences acquises à l'issue de la thèse et possibles débouchés) : consulter le document

https://drive.google.com/file/d/1F7ytGVdNIY5Zio0xeQ4QXuh_UGqFD_D3/view?usp=sharing

Description du sujet (en anglais)

Context:

The thesis focuses on high precision robotics for scientific instrumentation in a scanning electron microscope (SEM). The SEM offers the possibility to guide by electronic vision the instruments (effectors) of a robotic system with a higher resolution than optical microscopes. The resolution of the latter is limited by the diffraction of light and reaches a typical limit of a few hundred nanometers. A SEM can go well beyond this limit offering the possibility to perform vision based control of robotic systems operating in nanometer scale regions of interest [Shi et al. 2016]. This technology is particularly promising for robotic manipulation and multimodal characterization of samples at very small scales e.g. nanostructures, nanomaterials, biological cells. However, historical approaches, based on electron microscopy with planar vision and low acquisition

¹ Un MEB environnemental est un microscope électronique capable de visualiser des échantillons hydratés (e.g. cellules biologique) dans un état plus naturel que ceux observés dans un MEB classique. Sorbonne Université/ISIR possède un MEB environnemental.

frequency, significantly limit the exploitation of the three-dimensional SEM environment, the speed of execution of vision-based robotic tasks, and automation capabilities. Moreover, the increase in the rate of fast robotic tasks comes up against the need to control the interaction forces at very small scales between the robotic instruments and the environment.

Project Description:

In this context, the ANR project DyNaBot aims to study in depth the paradigm of robotic motion generation in SEMs for the execution of fast and safe tasks in a 3D environment. This approach, which is disruptive at this scale, aims to go beyond the state of the art by proposing digital twin-driven control methods for fast robotic systems equipped with active force sensors and operating in SEMs. The subject of the thesis will include (i) the proposal and study of a digital twin for the observation and the three-dimensional (3D) visualization of the working environment and the prediction of the states of the robotic system to go beyond the limits of frequency of acquisition of the SEMs when performing vision based control, (ii) the study of the problem of contact between the instruments of a fast robotic system and its environment using active force sensors with variable impedance and (iii) the proposal of electronic vision based control methods using the digital twin for the generation of fast robotic movements in the three-dimensional environment. The application framework will focus on the analysis and manipulation of hydrated biological samples by a polyarticulated robotic system within an environmental SEM.

Scientific Objective:

The objective of this thesis is to develop methods for the generation of fast robotic movements while mastering dynamic interaction forces within an electron microscope based on visual servoing and a digital twin. The digital twin will have two main advantages: three-dimensional observation and visualization of the working space and prediction of robot states.

Required Profile:

The candidate should have a master's degree or equivalent in the field of robotics or mechatronics or control with good skills in at least one of these areas.

Required skills:

Robotics or mechatronics or control with good skills in at least one of these areas. Previous experience in the field of digital twins is not essential. The candidate should have a strong interest in methodological and experimental developments.

More information (expected outcomes, environment and equipment, skills acquired at the end of the thesis and possible career opportunities): see the document

https://drive.google.com/file/d/1F7ytGVdNIY5Zio0xeQ4QXuh_UGqFD_D3/view?usp=sharing