

Soutenance de thèse

Fabio ARDIANI soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA ACDC et intitulée «*Contribution à l'identification paramétrique de modèles dynamiques : application à la robotique collaborative*»

Le 10 janvier 2023 à 10h00, Grand Amphithéâtre ENI Tarbes

devant le jury composé de

M. Alexandre JANOT	Ingénieur de recherche ONERA	Directeur de thèse
M. Mourad BENOUSSAAD	Maître de conférences LGP-ENIT-INP	Co-directeur de thèse
M. Andrea CHERUBINI	Professeur Université de Montpellier	Rapporteur
M. Yannick AOUSTIN	Professeur Université de Nantes	Rapporteur
M. Hugues GARNIER	Professeur Polytech Nancy - CRAN	Examineur
Mme Marina INDRI	Professore Associato Confermato Politecnico di Torino	Examineur
M. Mehdi CHERIF	Professeur ENSAM Bordeaux	Examineur

Résumé : La robotique a joué un rôle important dans les changements industriels de ces dernières décennies, permettant de réduire les coûts, d'améliorer la qualité, d'augmenter la productivité et de réduire les dangers pour les employés. Bien que les robots aient d'abord été conçus pour travailler dans des scénarios industriels à l'intérieur de cages, on a eu tendance ces dernières années à supprimer ces barrières et à permettre aux robots non seulement de partager leur espace de travail avec les humains, mais aussi leurs tâches et leurs objectifs. Cela a élargi leur champ d'application, avec pour résultat une apparition de plus en plus fréquente des robots dans notre vie quotidienne et la nécessité de mieux maîtriser le robot. Qu'il s'agisse de concevoir une loi de commande, de simuler le système pour prédire les états futurs ou d'effectuer la détection de défauts ou de collisions, un modèle précis et fiable devient nécessaire. La meilleure façon d'y parvenir est d'utiliser des techniques de modélisation de type « gray-box » : elles font appel à la connaissance des lois physiques qui régissent le système et aux données expérimentales. La complexité croissante des systèmes et de leur environnement, ainsi que la nécessité de réadapter le modèle pendant le fonctionnement du système, remettent ces techniques sur le devant de la scène. Dans le cadre de cette thèse, l'accent est mis sur le développement et l'amélioration des méthodes d'estimation des paramètres à appliquer dans l'identification du modèle dynamique des systèmes robotiques. Le cas de la robotique collaborative est étudié en validant toutes les méthodes avec le KUKA LBR iiwa 14 R820. Cependant, nos méthodes sont générales et applicables à une grande variété de robots, comme en témoignent les résultats obtenus avec le robot mobile Pioneer LX et le manipulateur industriel Stäubli TX40. Les contributions sont présentées selon deux axes principaux. D'une part, on traite des méthodes d'estimation en-bloc hors ligne, qui sont généralement utilisées pour avoir une première idée du modèle. Considérant que les paramètres ont une signification physique et que les mesures sont intrinsèquement bruitées, le premier algorithme proposé est robuste au bruit de mesure et assure la consistance physique des estimations. La deuxième méthode proposée s'attaque à deux autres obstacles : le fait que les fabricants de robots commerciaux souvent ne divulguent pas des informations et des mesures importantes aux utilisateurs pour des raisons de confidentialité et de sécurité, et le phénomène important mais peu maîtrisé de la friction. La méthode identifie le modèle que le fabricant a inclus dans son contrôleur dans un processus de rétro-ingénierie, et

l'utilise pour estimer les paramètres de friction. D'autre part, dans les systèmes qui changent au cours du temps ou qui interagissent avec un environnement inconnu et dynamique, l'estimation du modèle et de ses paramètres doit se faire en ligne. À cette fin, les variantes récursives doivent être abordées. Des aspects tels que l'initialisation de l'algorithme, la stabilité des estimations et le temps de calcul prennent de l'importance. Dans ce contexte, nous développons d'abord une nouvelle méthode qui produit des estimations cohérentes avec des mesures bruitées, qui est robuste par rapport aux valeurs initiales et qui ne nécessite pas de simulation externe du système. Deuxièmement, bien qu'il soit connu que l'identification globale est plus précise que l'identification séquentielle, cette dernière est parfois la seule option. Nous développons ainsi de nouvelles méthodes qui propagent la distribution statistique des estimations dans les différentes étapes d'identification, ce qui permet de ne pas perdre d'information et d'obtenir des estimations plus précises. Enfin, certaines de ces méthodes sont testées dans plusieurs scénarios en ligne qui incluent une interaction humaine et différentes charges utiles.

Mots-clés : Robotique, Identification paramétrique, Modèles dynamiques, Robotique Collaborative, Identification séquentielle, Identification des Systèmes

Summary: For efficient control of dynamic systems, an estimation of the dynamic parameters is essential in order to match the calculated models to the behaviors of real systems. In addition, it also quantifies and tracks the evolution of parameters for diagnostic purposes, failure detection and fault-tolerant control. In the case of robotic systems, identification methods operating in a closed loop should be considered as these are unstable systems in open loop. It is therefore appropriate to impose so-called exciting trajectories to the robot in order to excite the dynamic parameters as well as possible. Moreover, according to our knowledge of the robotic system, it is also wise to identify the controller structure and to estimate the parameters involved in this structure separately from the dynamic model of the robot. Built robots are increasingly seen as flexible. While flexibility has long been considered a handicap for the precise control of manipulator arms, it is now considered as an advantage for so-called collaborative robots for security aspects. In addition, with regard to space robots, the latter are generally very slender involving structural flexibility. Considering flexible models is therefore more and more important now. The main objective of the thesis is to develop one or more identification methods capable of estimating dynamic parameters involved in dynamic models of collaborative or spatial robots that are flexible and nonlinear. These methods will be based on the methods developed and validated on the rigid manipulator arms as well as the methods applied and validated on the flexible robots. The method (s) can be evaluated on the Kuka LBR Iiwa flexible robot acquired by the LGP DIDS and on the Kinova acquired by ONERA DTIS within the framework of PR ROSO

Keywords: Robotics, Parametric Identification, Dynamic Models, Collaborative Robotics, Online Identification, System Identification