

Proposition de sujet de thèse-Contrats Doctoraux 2018-2021

Titre du sujet :

Développement d'outils d'aide à la conception robuste de robots à câbles

Laboratoire d'accueil : Institut Clément Ader UMR CNRS 5312

Thématique : Conception mécanique, Robotique, Optimisation.

Résumé du projet de recherche :

Dans le domaine de la mécanique, la conception de mécanismes est soumise à des variations, déterministes ou non, qui proviennent de sources diverses appelées incertitudes. Il existe deux familles d'incertitudes, les incertitudes d'origine géométrique (ex. : imprécisions d'assemblage ou de fabrication) et les incertitudes d'origine non-géométrique (ex. : déformations des éléments mécaniques dues aux efforts ou les jeux mécaniques dans les articulations). Toutes ces variations peuvent modifier de manière importante les caractéristiques souhaitées du mécanisme et entraîner des conceptions non robustes, onéreuses et défaillantes. Le concepteur doit donc prendre en compte un maximum d'incertitudes et utiliser des critères d'évaluations des conséquences de ces variations afin de concevoir le mécanisme le plus robuste possible.

Les travaux de cette thèse porteront sur la conception robuste de robots à câbles. Un robot à câbles est un mécanisme en chaîne cinématique fermée dont la plate-forme mobile est reliée aux actionneurs au moyen exclusif de câbles. Les robots à câbles sont en pleine émergence et des études montrent qu'ils peuvent répondre à certaines problématiques que les robots parallèles à segments rigides ne parviennent pas à résoudre [1-3]. Par exemple, ils sont plus légers donc capables d'avoir de plus grandes accélérations. Ils ont également une mécanique simplifiée par la suppression des liaisons passives. Cependant, le robot à câbles est un mécanisme soumis à des variations qui ne sont pas encore entièrement maîtrisées (ex. : répétabilité des enrouleurs de câbles) et entraînent donc des incertitudes sur son comportement [4].

Une première étape de la conception de robots à câbles est le choix d'une architecture qui respecte au mieux les exigences du cahier des charges. Cette étape se place au niveau de la conception préliminaire, c'est-à-dire, avant de commencer l'optimisation des caractéristiques du robot à câbles. Le concepteur doit donc bien choisir l'architecture de départ. Pour se faire, il dispose de nombreux critères de choix, comme l'espace de travail, la précision, la présence ou non de singularités, la dextérité, l'encombrement ou bien encore la raideur [5-6]. Cependant, dans la littérature on trouve peu d'études qui mettent en place une optimisation multiobjectifs robuste de ces critères dès la phase de conception préliminaire de robots à câbles. Un des objectifs de cette thèse est de combler ce manque en utilisant les compétences du groupe Modélisation des Systèmes et Microsystèmes Mécaniques (MS2M) dans le domaine de l'optimisation [7-8].

Une fois l'architecture du robot à câbles choisie, la synthèse de tolérance vise à déterminer les intervalles de tolérance pour le respect des exigences fonctionnelles [9]. Malgré les progrès récents réalisés dans le domaine de la robustesse [10], le lien entre les résultats et les spécifications normalisées des tolérances géométriques n'est pas encore établi. Actuellement, cette étape n'est pas formalisée. Les travaux les plus récents dans le domaine du tolérancement géométrique montrent qu'il existe encore des zones d'ombre. En particulier, les normes définissent les types et les zones de tolérances géométriques de façon très précise [11], mais leur choix n'est pas encore guidé. La mise en place d'une méthodologie pour la synthèse de tolérance de robots à câbles est donc nécessaire dans le cadre d'une conception optimale robuste. Les outils utilisés par l'axe Ingénierie des Systèmes et des Microsystèmes (ISM) pour étudier la propagation d'incertitudes [12-13] seront à la base du développement de cette méthodologie.

La thèse se déroulera comme suit. Après une étude bibliographique sur les robots, la première étape sera d'identifier les sources d'incertitudes sur les robots à câbles et de les hiérarchiser en étudiant leur influence sur la précision de la plate-forme mobile. Pour cela, il faudra commencer par une analyse cinématique (modélisation numérique des modèles géométriques direct et inverse) d'un robot à câbles à 6 degrés de liberté et par modéliser les sources d'incertitudes et leurs distributions statistiques (intervalles de tolérance de fabrication, jeux dans les articulations et les enrouleurs, modélisation des câbles...). Enfin, une propagation de ces incertitudes sera réalisée afin d'étudier leur sensibilité sur la robustesse de la conception. Cette étude de sensibilité permettra de passer à la seconde étape de cette thèse qui sera la synthèse de tolérance de robots à câbles. Pour cela des méthodes d'optimisations inverses seront utilisées pour mettre en place une méthodologie qui guidera le concepteur afin d'obtenir la précision voulue de l'organe terminal pour un coût de fabrication minimal. D'autre part, ce type de robots permettent la réalisation de prototype de manière relativement simple comparativement aux robots à segments rigides. Cela permettra d'analyser la pertinence des modèles mis en place dans ces travaux.

Finalement, beaucoup d'études portent sur la conception préliminaire [14] et la synthèse de tolérance [15]. Cependant, la notion d'optimisation robuste dans le domaine des robots à câble est beaucoup plus rare. L'objectif global de cette thèse est donc d'utiliser la théorie probabiliste, qui permet une modélisation très complète des incertitudes [16-18], afin de développer des outils fiabilistes d'aide à la conception robuste de robots à câbles.

Mots-clés :

Conception robuste, Robot à câbles, Analyse de sensibilité, Synthèse de tolérance.

Bibliographie :

- [1] : G. Abbasnejad, J. Yoon, H. Lee, 2016, "Optimum kinematic design of a planar cable-driven parallel robot with wrench-closure gait trajectory", *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 99, pp. 1-18.
- [2] : L. Gagliardini, S. Caro, M. Gouttefarde, A. Girin, 2016, "Discrete reconfiguration planning for Cable-Driven Parallel Robots", *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 100, pp. 313-337.
- [3] : S. Liu, B. Chen, S. Caro, S. Briot, L. Harewood, C. Chen , 2016, "A cable linkage with remote centre of motion", *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 105, pp. 583-605.
- [4] : B. Zi, H. Ding, X. Wu, A. Kecskeméthy, 2014, "Error modeling and sensitivity analysis of a hybrid-driven based cable parallel manipulator", *Precision Engineering*, Vol. 38, pp. 197-211.
- [5] : N. Binaud, S. Caro, P. Wenger, 2010, "Sensitivity comparison of planar parallel manipulators", *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 45, pp. 1477-1490.
- [6] : N. Binaud, S. Caro, P. Wenger, 2011, "Comparison of 3-RPR planar parallel manipulators with regard to their kinetostatic performance and sensitivity to geometric uncertainties", *Meccanica*, Vol.46, pp. 75-88.
- [7] : F. Bugarin, D. Henrion, J.B. Lasserre, 2016, "Minimizing the sum of many rational functions", *Mathematical Programming Computation*, Vol. 8, pp. 83-111.
- [8] : S. Djebali, S. Segonds, J.M. Redonnet, W. Rubio, 2015, "Using the global optimisation methods to minimise the machining path length of the free-form surfaces in three-axis milling", *International Journal of Production Research*, Vol. 53, pp. 5296-5309.
- [9] : A. Goldsztejn, S. Caro, G. Chabert, 2016, "A three-step methodology for dimensional tolerance synthesis of parallel manipulators", *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 105, pp. 213-234.
- [10] : V. Baudoui, P Klotz, J-B. Hiriart-Urruty, S. Jan, F. Morel, 2012, "LOcal Uncertainty Processing (LOUP) method for multidisciplinary robust design optimization", *Structural and Multidisciplinary Optimisation*, Vol. 46, pp. 711-726.
- [11] : GPS - Spécification géométrique des produits – Spécification, 2014, ISBN: 978-2-12-059211-5.
- [12] : L. Jaeger, S. Segonds, C. Bes, 2015, "Methodology Based on Multiagent for Solving Multidisciplinary Optimization Problem Under Uncertainty", *Journal of Aerospace Information Systems*, Vol. 12, pp. 290-298.
- [13] : Y. Wang, N. Binaud, C. Gogu, C. Bes J. Fu, 2016, "Determination of Paris' law constants and crack length evolution via Extended and Unscented Kalman filter : An application to aircraft fuselage panels", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 80, pp. 262-281.
- [14] : J.R. Davidson, C.J. Hohimer, C. Mo, 2016, "Preliminary Design of a Robotic System for Catching and Storing Fresh Market Apples", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 49, pp. 149-154.
- [15] : P. Beaucaire, N. Gayton, E. Duc, J-Y. Dantan, 2013, "Statistical tolerance analysis of over-constrained mechanisms with gaps using system reliability methods", *Computer-Aided Design*, Vol. 45, pp. 1547-1555.
- [16] : C. Gogu, Y. Qiu, S. Segonds, C. Bes, 2012, "Optimization Based Algorithms for Uncertainty Propagation Through Functions With Multidimensional Output Within Evidence Theory", *Journal of Mechanical Design - Transactions of the ASME*, Vol. 134, pp. 914.
- [17] : C.M. Rocco Sanseverino, J.E. Ramirez-Marquez, 2014, "Uncertainty propagation and sensitivity analysis in system reliability assessment via unscented transformation", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 132, pp. 176-185.
- [18] : Y. Wang, C. Gogu, N. Binaud, C. Bes, R.T. Haftka, N.H. Kim, 2017, "A cost driven predictive maintenance policy for structural airframe maintenance", *Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 30, pp. 1242-1257.

Encadrement :

Directeur de thèse : Stéphane Segonds, MCF HDR, Université Toulouse III- Paul Sabatier.
Co-directeur : Nicolas Binaud, MCF, Université Toulouse III- Paul Sabatier.

Contexte institutionnel :

Le (la) candidat(e) sera accueillie à Toulouse au sein de l'Institut Clément Ader UMR CNRS 5312, il (elle) sera rattaché(e) au groupe Modélisation des Systèmes et Microsystèmes Mécaniques (MS2M). L'inscription se fera via l'école doctorale MEGeP (Mécanique, Energétique, Génie civil & Procédés).

Financement de thèse :

Bourse ministérielle / Contrat doctoral de 36 mois, suivant le taux en vigueur, 1758 euros bruts mensuels. Possibilité de complément via des enseignements jusqu'à 64h équivalent TD par année.

Date de début du contrat : 01/10/2018

Profil du candidat / Compétences requises :

Le (la) candidat(e) sera issu d'un Bac+5 en génie mécanique ou mathématique appliqué (master recherche ou école d'ingénieur). Dans l'idéal, le (la) candidat(e) devra avoir une bonne formation en conception mécanique et des bases solides en optimisation mathématique. Des notions en robotique seront appréciées. Il (elle) devra avoir une bonne aptitude à la rédaction scientifique (langue française et anglaise), et une aisance pour présenter des travaux de recherche en congrès. A noter qu'il n'y a pas de candidat pressenti.

Modalités de candidature :

Les candidats feront parvenir un CV et une lettre de motivation à : nicolas.binaud@univ-tlse3.fr et stephane.segonds@univ-tlse3.fr

Les candidatures qui auront été sélectionnées feront l'objet d'une audition en vue d'un classement. Des éléments complémentaires pourront être demandés à cette occasion (mémoire de stage, complément de relevés de notes etc. ...). Lors de l'audition, le (la) candidat(e) explicitera brièvement son parcours et se positionnera par rapport au sujet en proposant des pistes de travail.

Contacts :

Nicolas Binaud : +33 (0) 5 61 17 10 67 / nicolas.binaud@univ-tlse3.fr
Stéphane Segonds : +33 (0) 5 61 17 10 67 / stephane.segond@univ-tlse3.fr