

Reliable robotic grasping for uncertain objects through virtual model control

Auteur : Vanderheyden, Julien

Promoteur(s) : Drion, Guillaume; Sacré, Pierre

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master : ingénieur civil électricien, à finalité spécialisée en Neuromorphic Engineering

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/23305>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Reliable robotic grasping for uncertain objects through virtual model control

VANDERHEYDEN Julien

Thesis supervisors – SACRÉ Pierre, DRION Guillaume

*Master of Science in Electrical Engineering, professional focus in neuromorphic engineering –
University of Liège*

Academic year 2024–2025

Abstract

Dexterous robotic grasping remains a central challenge in robotics due to the high-dimensional nature of multi-fingered manipulators and the complex physical interactions involved in object manipulation. This thesis investigates the application of the Virtual Mechanisms (VM) control framework to enhance grasping capabilities in anthropomorphic robotic hands. Building on the principles of passivity-based impedance control, the VM approach introduces virtual mechanical elements such as springs, dampers, and inertial components interconnected in operational space to generate intuitive and modular control behaviors.

The thesis proposes two main application approaches. The first one utilizes virtual mechanisms as simple and intuitive hand-centered trajectory planners to generate human-inspired grasping motions, employing a taxonomy-based approach to implement the following common grasp types: medium wrap, power sphere, and lateral pinch. The second one extends this approach toward object-centric behavior shaping, wherein virtual mechanisms are dynamically tailored to object geometry. Both strategies are implemented and tested on a Shadow Dexterous Hand robotic platform. Results indicate that virtual mechanisms offer a robust and versatile control paradigm, enhancing grasp robustness and adaptability while preserving stability.

The thesis concludes with a proof-of-concept integration of position-based feedback into the VM framework, laying the groundwork for future developments. Overall, this work highlights the potential of virtual mechanisms as a promising alternative to traditional grasp control strategies in dexterous robotic manipulation.

Keywords: Dexterous grasping, multi-fingered hand, virtual mechanism, hand-centric trajectory planning, object-centric behavior shaping.

Préhension robotique fiable d'objets incertains grâce au contrôle par modèle virtuel

VANDERHEYDEN Julien

Promoteurs – SACRÉ Pierre, DRION Guillaume

Master en Ingénieur électricien, à finalité spécialisée en ingénierie neuromorphique – Université de Liège

Année académique 2024–2025

Résumé

La préhension robotique de précision reste un défi majeur en robotique en raison de la nature hautement dimensionnelle des mains robotiques et des interactions physiques complexes impliquées dans la manipulation d'objets. Cette thèse étudie l'application de la méthode de contrôle des mécanismes virtuels (MV) pour améliorer les capacités de préhension des mains robotiques anthropomorphiques. S'appuyant sur les principes du contrôle d'impédance basé sur la passivité, l'approche MV introduit des éléments mécaniques virtuels tels que des ressorts, des amortisseurs et des composants inertiels interconnectés dans l'espace opérationnel afin de générer des comportements de contrôle intuitifs et modulaires.

La thèse propose deux applications principales. La première utilise les mécanismes virtuels comme des générateurs de trajectoire simples et intuitifs centrés sur le mouvement de la main pour générer des trajectoires de préhension inspirés de ceux de l'homme. Elle emploie une approche basée sur une taxonomie pour mettre en œuvre les types de préhension suivants : enroulement moyen, sphère de puissance et pincement latéral. La seconde étend cette approche à un comportement centré sur l'objet, dans laquelle les mécanismes virtuels sont adaptés dynamiquement à la géométrie de l'objet. Les deux stratégies sont implémentées et testées sur une main robotique Shadow Dexterous Hand. Les résultats indiquent que les mécanismes virtuels offrent un paradigme de contrôle robuste et polyvalent, améliorant la robustesse et l'adaptabilité de la préhension tout en préservant la stabilité.

La thèse se termine par une preuve de concept sur l'intégration de rétroaction basée sur la position dans la méthode MV, jetant les bases pour des développements futurs. Dans l'ensemble, ce travail met en évidence le potentiel des mécanismes virtuels comme alternative prometteuse aux stratégies traditionnelles de contrôle de la préhension dans la manipulation robotique de précision.

Mots-clés: Préhension robotique, main anthropomorphique, mécanisme virtuel, génération de trajectoires centrées sur la main, mouvement émergent centré sur l'objet.
