

Titre : Oscillateurs non linéaires fractionnaires couplés en réseau

Mots clés : Calcul fractionnaire, Oscillateurs chaotiques, Commande prédictive de modèle, Apprentissage par renforcement, Discrétisation de Grünwald–Letnikov, Synchronisation couplée

Résumé : Cette thèse étudie les stratégies de contrôle d'ordre fractionnaire appliquées aux systèmes chaotiques non linéaires, en mettant l'accent sur les oscillateurs fractionnaires couplés. En exploitant les effets de mémoire du calcul fractionnaire, des approches innovantes sont développées pour améliorer la stabilité et la robustesse des systèmes dynamiques complexes. Le cadre proposé, fondé sur la discrétisation de Grünwald–Letnikov, unifie le contrôle prédictif de modèle fractionnaire (FMPC), sa version à entiers mixtes (FMIMPC), les PID adaptatifs par apprentissage par renforcement, et les stratégies de commande à retard temporel.

Les résultats démontrent une synchronisation robuste dans les réseaux d'oscillateurs chaotiques tout en respectant les critères de stabilité de Matignon. L'application à la locomotion robotique hexapode à l'aide d'oscillateurs de Hopf fractionnaires met en évidence une coordination et une adaptabilité supérieures. Les analyses de stabilité basées sur les fonctions de Mittag-Leffler et les méthodes d'estimation d'état de type Kalman fractionnaire confirment la validité du cadre proposé. Cette recherche établit le calcul fractionnaire comme un outil essentiel pour la commande avancée de systèmes complexes.

Title : Coupled Network Fractional Nonlinear Oscillators

Keywords : Fractional calculus, Chaotic oscillators, Model predictive control, Reinforcement learning, Grünwald–Letnikov discretization, Coupled synchronization

Abstract : This thesis investigates fractional-order control strategies for nonlinear chaotic systems, focusing on coupled fractional oscillators. By exploiting the memory properties of fractional calculus, novel control frameworks are developed to enhance stability and robustness in complex dynamical systems. Based on Grünwald–Letnikov discretization, the framework unifies fractional model predictive control (FMPC), mixed-integer FMPC, reinforcement learning-based adaptive PID control, and time-delay feedback schemes.

The proposed methods achieve robust synchronization in coupled chaotic networks under Matignon stability conditions and demonstrate effective hexapod robotic locomotion using coupled fractional Hopf oscillators. Stability analysis via Mittag-Leffler functions and fractional Kalman estimation confirms the theoretical soundness. This work positions fractional calculus as a key paradigm for advanced control of complex systems.