

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département d'Automatique

Laboratoire de Commande des Processus



## Thèse

de Doctorat en Sciences

en Génie Électrique

Option : Automatique

**Présenté par**

Noureddine BOUARROUDJ

Magister en Automatique de l'ENP

**Intitulé**

---

**Commandes par Mode de Glissement d'Ordre Fractionnaire  
Optimisées par Métaheuristique. Application aux Systèmes Non  
Linéaires et Interconnectés.**

---

**Présentée le 15/02/2017 devant le Jury composé de :**

Mr. CHEKIREB Hachemi	Professeur	ENP	Président
Mr. BOUKHETALA Djamel	Professeur	ENP	Rapporteur
Mr. BOUDJEMA Farès	Professeur	ENP	Rapporteur
Mr. BALI Noureddine	Professeur	USTHB	Examineur
Mr. BENMANSOUR Khelifa	Professeur	ESDAT/U. Medéa	Examineur
Mr. BOUAMAR Mohamed	Professeur	ESDAT/U. M'Sila	Examineur
Mr. HEMICI Boualem	Professeur	ENP	Examineur

**ملخص:** يعتبر حساب الاشتقاق والتكامل الكسرى موضوع العديد من الدراسات منذ عدة سنوات. الهدف من هذا العمل هو بدء التعامل مع تقنيات التحكم من منظور جديد. لهذا الغرض، طرق تحكم بدرجة كسرية تم اقتراحها، أولاً، تقنيات التحكم بواسطة (PID) الكلاسيكي و (PID) بدرجة كسرية ( $PI^{\alpha}D^{\beta}$ ) لمقلد طائرة الهليكوبتر (TRMS) تمت دراستها بعد ذلك قمنا باقتراح العديد من تقنيات التحكم غير الخطية بدرجة كسرية للعديد من الأنظمة الغير خطية. بالنسبة للفئة الأولى من الأنظمة الغير خطية بمدخلين ومخرجين تم اقتراح العديد من تقنيات التحكم المنزلق مع المنطق الضبابي (لحل مشكلة الترددات العالية) بالاختيار الأمثل لمساحات انزلاق بدرجة طبيعية (PD, PID) وبدرجة كسرية ( $PD^{\alpha}$ ,  $PI^{\alpha}D^{\alpha}$ ). تقنيات تحكم منزلق بدرجة طبيعية وبدرجة كسرية تمت دراستها أيضاً بالنسبة للفئة الثانية من الأنظمة الغير خطية بمدخل ومخرجين. من أجل الحصول على أداء جيد للنظام في الحلقة المغلقة تم استخدام خوارزمية سحابة الجزيئات (PSO). في الأخير أجرينا عمليات محاكاة عددية للتحقق من الإنشاءات النظرية التي قدمت في هذا العمل، حيث أظهرت النتائج أفضلية تقنيات التحكم بدرجة كسرية على التي بدرجة طبيعية وذلك في معظم الحالات.

**كلمات مفتاحية:** الحساب الكسرى، مقلد طائرة الهليكوبتر، نظام بمدخلين و مخرجين، نظام بمدخل و مخرجين، التحكم (PID)، التحكم ( $PI^{\alpha}D^{\beta}$ ) التحكم المنزلق، خوارزمية سحابة الجزيئات.

**Abstract:** This work deals with the fractional order control of nonlinear systems. A conventional PID controller and fractional order one ( $PI^{\alpha}D^{\beta}$ ) are synthesized and compared in term of dynamic performances of the TRMS system. Then, different nonlinear control approaches of fractional order are proposed for different classes of nonlinear systems. For the first class of nonlinear TITO systems, some structures of sliding mode control with fuzzy logic are designed to overcome the *chattering* phenomena. Different sliding surfaces of integer order (PD, PID) and fractional order ( $PD^{\alpha}$ ,  $PI^{\alpha}D^{\alpha}$ ) are proposed. For the second class of nonlinear SITO systems, sliding mode controllers of integer order and fractional order were also proposed. In order to improve the performance of the system in closed loop, the algorithm of particle swarm (PSO) is used to optimize the control laws parameters. Numerical simulations were performed to highlight the performances of the proposed approaches. The simulation results shows the superiority of the fractional order control compared with the integer order one in the most cases.

**Key words:** fractional order calculus, TRMS, TITO system, SITO system, PID controller,  $PI^{\alpha}D^{\beta}$  controller, sliding mode control, PSO algorithm.

**Résumé:** La théorie du calcul fractionnaire fait l'objet de multiples études depuis plusieurs années. L'objectif visé par le présent travail de thèse est l'utilisation de cette théorie pour la synthèse de lois de commande pour plusieurs classes de systèmes dynamiques. Dans un premier lieu, des commandes par PID classique et PID fractionnaire ( $PI^{\alpha}D^{\beta}$ ) sont synthétisées pour le système Twin Rotor Mimo System (TRMS). Ensuite, plusieurs approches de commande non linéaires d'ordre fractionnaire sont proposées pour différents systèmes non linéaires. Pour les systèmes non linéaires Two Inputs Two outputs (TITO), différentes structures de commande par mode glissant combiné avec la logique floue élaborées afin de remédier aux problèmes de *chattering* ont été élaborées. Des surfaces de glissement d'ordre entier (PD, PID) et d'ordre fractionnaire ( $PD^{\alpha}$ ,  $PI^{\alpha}D^{\alpha}$ ) sont proposées. Pour des systèmes non linéaires Single Input Two Outputs (SITO), des commandes par mode glissant d'ordre entier et d'ordre fractionnaire ont été également synthétisées. Afin d'optimiser les valeurs des paramètres des lois de commande proposées, l'algorithme d'optimisation par essaim de particules (OEP) a été utilisé. Les résultats de simulation ont démontré la supériorité, en terme de performances des commandes d'ordre fractionnaire par rapport à celle d'ordre entier dans la majorité des situations.

**Mots clés:** calcul d'ordre fractionnaire, TRMS, système TITO, système SITO, régulateur PID, régulateur  $PI^{\alpha}D^{\beta}$ , commande par mode glissants, algorithme OEP.