



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mme **EL KHALOUFI Ghizlane**
Soutiendra : **le Samedi 26/07/2025 à 10H00**
Lieu : **FSDM – Département de Géologie**

Une thèse intitulée :

« Commande et observation des systèmes dynamiques : application aux systèmes cardiovasculaires »

*En vue d'obtenir le **Doctorat***

*FD : **Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication**
Spécialité : **Génie Electrique***

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
BENHALA Bachir	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Président
OUCHATTI Abderrahmane	Faculté des Sciences Ain Chock, Casablanca	MCH	Rapporteur
BOLAJRAF Mohamed	Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Tétouan	MCH	Rapporteur
BOUKILI Bensalem	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	MCH	Rapporteur
SEFRITI Selma	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	MCH	Examineur
EL BAKRI Ayoub	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	MCH	Examineur
BOUMHIDI Ismail	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Co-directeur de thèse
CHAIBI Noredine	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	MCH	Directeur de thèse



Résumé :

Les avancées en théorie du contrôle automatique ont permis d'élargir leur champ d'application aux systèmes biologiques complexes, en particulier au système cardiovasculaire, dont la dynamique présente des non-linéarités, des retards temporels et une variabilité interindividuelle. Dans ce contexte, les techniques de contrôle et de surveillance permettent de développer des solutions innovantes qui favorisent un diagnostic précoce, un suivi précis et une intervention efficace pour lutter contre les maladies cardiovasculaires, qui constituent aujourd'hui l'un des principaux défis de la santé mondiale.

Cette thèse s'inscrit dans ce contexte et traite de la conception de stratégies avancées de commande et d'observation pour le système cardiovasculaire humain. Pour atteindre ces objectifs, une compréhension approfondie des sous-systèmes constituant le système cardiovasculaire s'avère indispensable. Parmi ces sous-systèmes, l'artère coronaire et le pacemaker naturel jouent un rôle fondamental dans la régulation du fonctionnement cardiaque. Le travail considère divers modèles mathématiques représentant la dynamique cardiovasculaire, ainsi que leurs sous-systèmes, y compris les systèmes singuliers, les systèmes non linéaires sans structure triangulaire inférieure, les systèmes flous de Takagi-Sugeno avec des retards variables dans le temps, et les systèmes non linéaires avec une dynamique inconnue.

L'étude se focalise ensuite sur la conception d'un observateur pour le modèle cardiovasculaire singuliers, permettant l'estimation simultanée des états du système et la détection des défauts. Concernant la commande, un contrôleur de suivi H_∞ est proposé pour le système de l'artère coronaire. Ce contrôleur combine les approches de backstepping et de contrôle de surface dynamique, ce qui permet de traiter efficacement l'explosion de complexité souvent rencontrée dans les systèmes non linéaires, tout en assurant robustesse et performance en suivi. Par ailleurs, un cadre de synchronisation robuste est développé pour aligner un modèle coronarien pathologique avec son homologue nominal en utilisant une représentation floue à retardement. Cette approche introduit de nouvelles conditions d'inégalité matricielle bilinéaire (BMI) pour la stabilité et la synthèse du contrôleur, reformulées par la suite sous forme de LMI pour une mise en œuvre pratique. Enfin, un cadre de commande à temps prescrit est introduit pour les systèmes non linéaires à dynamique inconnue, représentant notamment un modèle de pacemaker naturel anormal. En intégrant l'apprentissage par processus gaussien avec le backstepping, cette approche garantit la stabilisation dans un temps spécifié par l'utilisateur, indépendamment des conditions initiales.

L'ensemble des méthodes d'observation et de commande proposées a été implémenté sous MATLAB. Les résultats de simulation, très satisfaisants, mettent en évidence l'efficacité et la robustesse des solutions développées, ainsi que des améliorations significatives par rapport aux approches existantes dans la littérature.

Mots clés :

Commande, observation, système cardiovasculaire, systèmes non linéaires inconnus, systèmes flous de Takagi-Sugeno, théorie de Lyapunov, méthode de Krasovskii, stabilisation en temps prescrit, processus gaussiens, méthode de backstepping.



Control and Observation of Dynamical Systems: Application to Cardiovascular Systems

Abstract :

Advances in automatic control theory have expanded its scope of application to complex biological systems, particularly the cardiovascular system, whose dynamics exhibit marked nonlinearities, time delays, and interindividual variability. In this context, control and observation techniques enable the development of innovative solutions that promote early diagnosis, accurate monitoring, and effective intervention to combat cardiovascular diseases, which are now one of the main challenges in global health.

In this context, this thesis deals with the design of advanced control and observation strategies for the human cardiovascular system. To achieve these goals, a thorough understanding of the subsystems that make up the cardiovascular system is essential. Among these subsystems, the coronary artery and the natural pacemaker play a fundamental role in regulating cardiac function. The work considers various mathematical models representing cardiovascular dynamics and their subsystems, including singular systems, nonlinear systems without lower triangular structure, Takagi-Sugeno fuzzy systems with time-varying delays, and nonlinear systems with unknown dynamics.

The study then focuses on the design of an observer for the singular cardiovascular model, enabling simultaneous estimation of system states and fault detection. Subsequently, an H_∞ tracking controller is proposed for the coronary artery system. This controller combines backstepping and dynamic surface control approaches, effectively handling the complexity explosion often encountered in nonlinear systems, while ensuring robustness and tracking performance. Furthermore, a robust synchronization framework is developed to align a pathological coronary artery with a normal coronary artery using a delayed fuzzy representation. This approach introduces new novel bilinear matrix inequality conditions for stability and controller synthesis, subsequently reformulated as linear matrix inequality for practical implementation. Finally, a prescribed-time control framework is introduced for nonlinear systems with unknown dynamics, particularly modeling a natural pacemaker. By integrating Gaussian process learning with backstepping, the proposed guarantees stabilization within a prescribed time, regardless of the initial conditions.

All the proposed observation and control methods were implemented in MATLAB. The simulation results are highly satisfactory, demonstrating the efficiency and robustness of the developed solutions, along with significant improvements over existing approaches in the literature.

Key Words :

Commande, observation, cardiovascular system, unknown nonlinear systems, Takagi–Sugeno fuzzy systems, Lyapunov theory, Krasovskii method, prescribed-time stabilization, Gaussian processes, backstepping method.