

## Soutenance de thèse

**Oktay KOCAN** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA CSDV et intitulée «*Commande par apprentissage itératif pour le contrôle des systèmes répétitifs*»

**Le 17 décembre 2020 à 13h00, Grande salle DTIS – ONERA Toulouse**

devant le jury composé de

M. Charles POUSSOT-VASSAL	Maître de recherche ONERA	Directeur de thèse
M. Svante GUNNARSSON	Professeur Linköping University	Rapporteur
M. Tom OOMEN	Professeur Eindhoven University	Rapporteur
M. Augustin MANECY	Ingénieur de recherche ONERA	Co-directeur de thèse
Mme Valerie BUDINGER	Professeure ISAE-SUPAERO	
M. Swann MARX	Chargé de recherche LS2N	
M. Marc JUNGERS	Directeur de recherche CRAN	
M. Edouard LAROCHE	Professeur Université Strasbourg	

**Résumé :** Le travail présenté dans cette thèse a pour but de construire un pont entre la commande basée sur des données et la commande conventionnelle pour rejeter des perturbations périodiques complexes inconnues agissant sur des systèmes linéaires ou sur une classe de systèmes non linéaires. La contribution principale de la thèse est l'approche de contrôle triple couche (triple layer control approach) qui montre comment combiner la commande de type apprentissage et la commande de type non apprentissage (conventionnelle) au moyen d'un processus d'identification comme l'outil de connexion entre les deux. Cette approche est expliquée au chapitre 5 de la thèse. Un point particulièrement motivant de l'approche proposée est qu'elle peut fonctionner correctement sous des perturbations inconnues périodiques complexes, à la fois lorsque le système est linéaire et non linéaire (les performances en cas linéaire sont beaucoup plus élevées que celles en cas non-linéaire dont les raisons seront expliquées au chapitre 5 et la conclusion générale). La faisabilité de cette approche est prouvée avec des résultats de simulation. La structure de la thèse est la suivante. Au chapitre 1, une introduction est donnée afin de développer les méthodes de contrôle de type apprentissage et de type non-apprentissage existantes et de décrire le processus de développement de la thèse. Au chapitre 2, une étude est consacrée à la bibliographie de la commande par apprentissage itératif (iterative learning control (ILC)) où des concepts de conception importants pour ILC ainsi que la principale méthode ILC utilisée tout au long de la thèse (c'est-à-dire la norme optimale ILC (NO-ILC)) sont introduits. Au chapitre 3, une application pratique avec un vrai drone d'intérieur est présentée comme une étude d'introduction qui a été réalisée pour tester la faisabilité de NO-ILC et déterminer si elle pourrait ou non être utilisée dans le reste du travail de thèse. Au chapitre 4, l'apport principal de la thèse commence à se développer avec la proposition d'une procédure pour régler automatiquement les contrôleurs de rétroaction linéaire qui s'appelle le learning based controller tuning (LBCT). Cette procédure peut être considérée comme la première tentative pour créer une connexion entre le contrôle basé sur les données et le contrôle conventionnel la thèse. Les résultats de simulation pour un problème de rejet de perturbation périodique inconnu a priori ont démontré que l'ILC peut être utilisé comme un outil puissant pour simplifier la conception des contrôleurs de rétroaction. Tout ce processus correspond en fait à la transformation de l'ILC basée sur des données en une loi de rétroaction de manière approximative. Ensuite, dans Chapitre 5, les idées présentées au chapitre 4 sont développées plus loin et l'approche qui est mentionné ci-dessus comme le contrôle triple couche (triple layer control) est obtenu comme résultat principal de la thèse. La dernière partie de la thèse est consacrée à une conclusion qui fournit quelques suggestions sur les études futures sur le sujet donné et implique le point de vue critique de l'auteur sur différents points concernant les applications et les démarches menées au cours de la thèse.

**Mots-clés :** apprentissage des robot/machine, contrôle automatique des drones/UAV, réglage automatique, commande hybride, intelligence artificielle, science et analyse des données

**Summary:** The work presented in this thesis has the purpose of building a bridge between databased control and conventional control design logics for rejecting complex unknown periodic disturbances acting on linear or a class of nonlinear systems. The main contribution of the thesis is the triple layer control approach which shows how to combine learning-type (data-based) control and non-learning-type (conventional) control by means of an identification process as connecting tool in between. This approach is explained in Chapter 5 of the thesis. A particularly motivating point of the proposed approach is that it can properly function under complex periodic unknown disturbances both when the system is linear and nonlinear (performance in linear case is much higher from the one in nonlinear case for which the reasons will be explained in Chapter 5 and the general conclusion). The feasibility of this approach is proven with simulation results. The structure of the thesis is as follows. In Chapter 1, an introduction is given in order to elaborate on the existing learning-type and non-learning type control methods and portray the development process of the thesis. In Chapter 2, a study is dedicated to the iterative learning control (ILC) bibliography where important design concepts for ILC as well as the main ILC method used throughout thesis (i.e. the norm optimal ILC (NO-ILC)) are introduced. In Chapter 3, a practical application with a real indoor UAV is shown as an introductory study which was carried out for testing the feasibility of NO-ILC and determining whether or not it could be used in the rest of the thesis work. In Chapter 4, the main contribution of the thesis begins to develop with the proposal of a procedure for automatically tuning the linear feedback controllers which is given the name of learning based controller tuning (LBCT) workflow. This procedure can be seen as the first attempt to create a connection between data-based control and conventional control throughout the thesis. It is demonstrated with the simulation results of an a priori unknown periodic disturbance rejection problem that ILC can be utilised as a powerful tool for simplifying the design of the feedback controllers. This whole process actually corresponds to the transformation of the data-based ILC into a feedback law in an approximate way. Next, in Chapter 5, the ideas presented in Chapter 4 are developed further and the approach that is mentioned above as triple layer control is obtained as the main outcome of the thesis. The final section of the thesis is dedicated to a conclusion that provides some suggestions about future studies in the given topic and it involves the critical view of the author on various points regarding the applications and approaches conducted during the thesis.

**Keywords:** UAV automatic control, automatic tuning and control, robot/machine learning, hybrid control, artificial intelligence, data analysis and data science