Optimal identification experiment design: contributions to its robustification and to its use for dynamic network identification. Resonance Frequency Tracking.

Federico MORELLI

Keywords: System Identification, Prediction Error, Optimal Experiment Design, Robust Experiment Design, Network Identification, Recursive Identification

At the roots of every engineering field there are mathematical models. They allow us to make predictions on the evolution of a process, monitor the health of a plant and design a control scheme. System Identification provides us with techniques for obtaining such a model directly from experimental data collected from the system we want to model, leading to a model which is accurate enough. In order to obtain a good model using the tools of System Identification, a user has to choose: a model structure, the experimental data and an estimation method.

The choice of the experimental data relies on designing the experiment and it has important consequences on the final quality of the model. Indeed, if we consider the identification of a model among a set of transfer functions (model structure) in the Prediction Error framework, the “larger” the power spectrum of the excitation signal, the more accurate the model. On the other hand, a “large” power spectrum for the excitation signal represents a high cost for the experiment. In this context, the least-costly experiment design framework has been proposed, where the cost is minimized while requiring a model which is just accurate enough.

In all optimal experiment design problems, the underlying optimisation problem depends on the unknown true system that we want to identify. This problem is generally circumvented by replacing the true system by an initial estimate. One important consequence of this approach is that we can underestimate the actual cost of the experiment and that the accuracy of the identified model can be lower than desired. Many efforts have been done in the literature to make this optimisation problem robust, leading to the research area of robust optimal experiment design. However, except for simple cases, all the approaches proposed so far do not completely robustify the optimisation problem. In this thesis, based on an a-priori uncertainty set for the true system, we propose a convex optimization approach that guarantees that the experiment cost will not be higher than a computed upper bound and that the accuracy of the model is at least the desired one. We do this considering that the excitation signal is a multisine signal.

In recent years we have observed in control engineering a rising interest in networks. Even if many Identification problems in the network context have been recently studied, this is not the case for the optimal experiment design. In this thesis, we consider the optimal experiment design for the identification of one module in a given network of locally controlled systems. The identification experiment will be designed in such a way that we obtain a sufficiently accurate model of the to-be-identified module with the smallest identification cost i.e. with the least perturbation of the network.

Finally, in the second part of this thesis we consider the drive mass system of MEMS gyroscope. This drive mass system is meant to oscillate at its resonance frequency in order to have the desired performances. However, during its operation the gyroscope undergoes environmental changes, such as temperature changes, that affect the resonance frequency of the resonator. It is then important to track these changes during the operation of the gyroscope. To do so, in this thesis, we investigate two solutions: one coming from adaptive control, the extremum seeking scheme, and one coming from System Identification, the recursive least squares algorithm.

Conception optimale d’expérience d’identification: contributions à sa robustification et à son usage pour l’identification des réseaux dynamiques. Suivi de la fréquence de résonance.

Federico MORELLI

Mots-clefs: Identification des Systèmes, Erreur de Prédiction, Conception Optimale de l’Expérience, Conception Robuste de l’Expérience, Identification des Réseaux, Identification Récursive

À la base de chaque domaine de l'ingénierie, il y a des modèles mathématiques. Ils nous permettent de faire des prédictions sur l'évolution d'un processus, de surveiller la santé d'un système et de concevoir une loi de contrôle. L’Identification des Systèmes nous fournit des techniques permettant d'obtenir un modèle directement à partir de données expérimentales recueillies sur le système que nous voulons modéliser et qui permet d'obtenir un modèle qui est suffisamment précis. Pour obtenir un bon modèle, en utilisant les outils de l’Identification des Systèmes, l'utilisateur doit choisir: une structure de modèle, les données expérimentales et un critère d'identification.

Le choix des données expérimentales repose sur la conception d'expérience et a des conséquences importantes sur la qualité finale du modèle. En effet, si l'on considère l'identification d'un modèle parmi un ensemble de fonctions de transfert (structure du modèle) dans le cadre de l’Erreur de Prédiction, plus le spectre du signal d'excitation est "grand", plus le modèle est précis. D'autre part, un "grand" spectre du signal d'excitation représente un coût élevé pour l'expérience. Dans ce contexte, le cadre de la conception least costly d’expérience a été proposé, où le coût est minimisé en exigeant un modèle suffisamment précis.

Dans tout problème de conception optimale d’expérience, le problème d'optimisation sous-jacent dépend du système réel inconnu qu'on veut identifier. Ce problème est généralement contourné en remplaçant le système réel par une estimation initiale. Un inconvénient important de cette approche est qu’elle pourrait sous-estimer le coût réel de l'expérience. De plus, la précision du modèle identifié peut être inférieure à celle souhaitée. De nombreux efforts ont été faits dans la littérature pour rendre robuste ce problème d'optimisation, ce qui a conduit au domaine de recherche de la conception optimale robuste d’expérience. Cependant, à l'exception de cas simples, toutes les approches proposées jusqu'à présent ne robustifient pas complètement le problème d'optimisation. Dans cette thèse, nous proposons une approche d’optimisation convexe, qui minimise le pire cout associé à un ensemble d’incertitude paramétrique donné a-priori et qui garantit que la précision du modèle soit au moins celle souhaitée. Nous faisons cela en considérant que le signal d'excitation est un signal multisinus.

Dans les dernières années, nous avons observé dans le domaine de l'Automatique un intérêt grandissant pour les réseaux. Même si plusieurs problèmes pour l’identification dans le contexte d’un réseau ont étés récemment attaquée, cela n’est pas le cas pour la conception optimale d’expérience. Dans cette thèse, nous considérons la conception optimale d’expérience pour l'identification d'un module dans un réseau de systèmes contrôlés localement. L'expérience d'identification sera conçue de manière à obtenir un modèle suffisamment précis du module à identifier avec le coût d'identification le plus faible, c'est-à-dire avec la perturbation la plus faible du réseau.

Enfin, dans la deuxième partie de cette thèse, nous considérons le système de masse drive d’un gyroscope MEMS. Ce système de masse drive est censé osciller à sa fréquence de résonance afin d'obtenir les performances souhaitées. Cependant, pendant son fonctionnement, le gyroscope subit des changements environnementaux, comme des changements de température, qui affectent la fréquence de résonance du résonateur. Il est donc important de suivre ces changements pendant le fonctionnement du gyroscope. Pour ce faire, dans cette thèse, nous étudions deux solutions : l'une provenant du contrôle adaptatif, le schéma dit Extremum Seeking, et l'autre provenant de l’Identification des Systèmes, l'algorithme de Moindres Carrées Récursive.