

Identification de systèmes gouvernés par des équations aux dérivées partielles

Encadrement : Régis Ouvrard et Thierry Poinot

Laboratoire : Laboratoire d'Automatique et d'Informatique pour les Systèmes (LIAS)

Mots clés : Identification, Equations aux dérivées partielles, Machine learning, Thermique, Dynamiques de populations.

Sujet :

Les systèmes à paramètres distribués rencontrés, par exemple, dans la diffusion de chaleur ou dans les mouvements de fluides, sont décrits par des équations aux dérivées partielles (EDP) avec au minimum deux variables indépendantes (généralement le temps et l'espace). Ces modèles sont fonction de paramètres inconnus qu'il faut déterminer. Différentes solutions pour estimer ces paramètres peuvent être utilisées telles qu'une estimation directe des paramètres de l'EDP, une approximation de l'EDP par un système d'équations différentielles ordinaires ou une réduction de l'EDP en une équation algébrique.

L'objectif de ce travail de thèse est de se concentrer sur l'identification des paramètres des EDP. Une étude bibliographique sur les différentes techniques existantes d'identification appliquées aux EDP sera tout d'abord menée. Les avantages et défauts de chacune des approches seront clairement mis en avant. Après avoir développé des techniques d'estimation en erreur d'équation et en erreur de sortie [1], l'équipe identification du LIAS a mis en œuvre des approches de séparation espace-temps [2,3] telle que la méthode de Galerkin basée sur le choix d'une base de fonctions orthonormales. En partant de ces premiers résultats, le travail du doctorant s'intéressera plus particulièrement aux points suivants :

- La comparaison de différentes bases de fonctions (empiriques ou analytiques) pour un même problème d'identification ;
- Le choix de la meilleure excitation au sens de l'estimation paramétrique ;
- La quantification de l'erreur d'estimation due aux approximations de la méthode ;
- L'influence du nombre de capteurs et de leur répartition sur l'estimation paramétrique ;
- L'adaptation des algorithmes pour des données non uniformément réparties en temps et/ou en espace (évaluation de techniques telles que le krigeage, « proper orthogonal decomposition » ou « singular spectrum analysis »...)
- L'étude de la précision de l'estimation et la quantification d'intervalles de confiance ;
- L'étude des spécificités liées au domaine d'application : application industrielle sur des échangeurs thermiques [1], application en écologie sur des dynamiques de populations [4], application en imagerie médicale sur la diffusion de cellules cancéreuses, ...
- L'étude de systèmes dont les paramètres des EDP varient en fonction de l'espace et/ou du temps ;
- La localisation et la reconstruction de sources.

Références

- [1] M. Farah, G. Mercère, R. Ouvrard, and T. Poinot. Combining least-squares and gradient-based algorithms for the identification of a co-current flow heat exchanger. *International Journal of Control*, 2016.
- [2] H. Li, and C. Qi. Modeling of distributed parameter systems for applications - A synthesized review from time-space separation. *Journal of Process Control* 20, 891–901, 2010.
- [3] D. Pham, G. Mercère, R. Ouvrard, and T. Poinot. Heat equation parameter estimation based on the POD-Galerkin approach. In: *18th IFAC Symposium on System Identification*, 2018.
- [4] R. Ouvrard, G. Mercère, T. Poinot, F. Jiguet, L. Mouysset. Dynamic models for bird population - A parameter-varying partial differential equation identification approach. Submitted to *Control Engineering Practice*. A télécharger sur le lien : www.lias-lab.fr/perso/regisouvrard/CEP_2018_EDP_for_bird_population.pdf

Profil souhaité :

Le candidat devra posséder des connaissances en mathématiques appliqués, en automatique et plus spécifiquement en identification des systèmes. Une bonne connaissance de Matlab est nécessaire. Un bon niveau en français et en anglais est fondamental.

Documents à fournir :

- Curriculum Vitae et lettre de motivation,
- Notes de Master,
- Score au TOEIC ou équivalent,
- Tout autre document jugé nécessaire par le candidat pouvant enrichir le dossier de candidature.

Contacts :

regis.ouvrard@univ-poitiers.fr, thierry.poinot@univ-poitiers.fr

Identification of systems governed by Partial Differential Equation

Supervisors: Régis Ouvrard and Thierry Poinot

Laboratory: Laboratoire d'Automatique et d'Informatique pour les Systèmes (LIAS)

Keywords: Identification, Partial Differential Equations, Machine learning, Heat transfer, Population dynamics.

Subject:

Distributed parameter systems like processes governed by heat diffusion or flow phenomena can be described by partial differential equations (PDE) depending on two or more independent variables (usually time and space). These models contain some unknown (physical) parameters to be determined. Different ways to estimate parameters of distributed parameter systems can be used: direct estimation of the PDE model parameters, transformation of the PDE into a set of ordinary differential equations (ODEs), reduction of the partial differential equation to algebraic equations.

The main objective of this PhD thesis is to develop new tools for PDE model parameter identification. First a study on existing identification techniques available in the literature will be performed with a specific attention to their advantages and drawbacks. After developing equation error and output error estimation techniques [1], the LIAS laboratory system identification team implemented time-space separation approaches [2,3] such as the Galerkin method based on the selection of orthonormal basis functions. From these first results, the candidate will focus more specifically on the following points:

- The comparison of different basis functions (empirical or analytical) for a given identification problem;
- The design of the best system excitation in estimation sense;
- The quantification of the estimation error due to the method approximations;
- The impact of the number of sensors and their spatial distribution on the parameter estimation;
- The adaptation of the algorithms for non-uniformly sampled data in time and/or space domain (evaluation of methods such as kriging, proper orthogonal decomposition or singular spectrum analysis...);
- The study of the estimation accuracy and the quantification of confidence intervals;
- The study of particular contexts related to the application field: industrial application about heat exchangers [1], ecological application with the population dynamics [4], medical imaging application for the diffusion of cancer cells, ...
- The study of systems with PDE parameters varying with time and/or space;
- The localisation or the reconstruction of sources.

References

- [1] M. Farah, G. Mercère, R. Ouvrard, and T. Poinot. Combining least-squares and gradient-based algorithms for the identification of a co-current flow heat exchanger. *International Journal of Control*, 2016.
- [2] H. Li, and C. Qi. Modeling of distributed parameter systems for applications - A synthesized review from time-space separation. *Journal of Process Control* 20, 891–901, 2010.

[3] D. Pham, G. Mercère, R. Ouvrard, and T. Poinot. Heat equation parameter estimation based on the POD-Galerkin approach. In: 18th IFAC Symposium on System Identification, 2018.

[4] R. Ouvrard, G. Mercère, T. Poinot, F. Jiguet, L. Mouysset. Dynamic models for bird population - A parameter-varying partial differential equation identification approach. Submitted to Control Engineering Practice. A télécharger sur le lien :

www.lias-lab.fr/perso/regisouvrard/CEP_2018_EDP_for_bird_population.pdf

Profile of applicant:

This PhD proposal mainly requires skills in applied mathematics, automatic control and system identification more specifically. Fluency in French and in English is required.

Documents to provide:

- Curriculum Vitae and cover letter,
- Master marks,
- Certificate of proficiency in English,
- Any other document deemed necessary by the candidate which can enrich the application.

Contacts:

regis.ouvrard@univ-poitiers.fr, thierry.poinot@univ-poitiers.fr