

Projet Digitéo - Allocation doctorale

Titre : Commande performante et robuste d'un écoulement de cavité

Projet : COPERSFI (COMmande PERformante de Systèmes Fluides Incertains)

Laboratoires SATIE* et **LIMSI†**

Résumé

Ce travail de thèse porte sur deux aspects. D'une part, la difficulté de synthétiser des correcteurs pour des systèmes à grande dimension. D'autre part, l'introduction de nouvelles approches pour la prise en compte des incertitudes paramétriques associées au problème. L'écoulement fluide au dessus d'une cavité offre un cadre applicatif adéquat pour traiter ces deux objectifs. En ce qui concerne la synthèse pour des systèmes de grande dimension, l'approche qui sera suivie n'est pas de proposer de nouveaux algorithmes de synthèse mais de reformuler le problème pour bénéficier d'outils existants numériquement robustes. Le second objectif est très lié au premier puisqu'il conduit à une augmentation de la taille du modèle. Il permet de réduire les contraintes sur la performance de la synthèse. Les solutions usuelles sont de type $\mathcal{H}_2/\mathcal{H}_\infty$ mais la contrainte \mathcal{H}_∞ n'est cependant pas celle qui prend le plus efficacement en compte l'incertitude. Le but est donc d'améliorer la robustesse de la synthèse, tout en préservant au mieux les performances.

*Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Energie

†Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur

Encadrants :

✓ **Hisham Abou-Kandil & Mohamed Abbas-Turki**, ENS Cachan

Laboratoire SATIE : Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Energie (UMR-8029).

61, Avenue du Président Wilson 94235 Cachan Cedex.

Tel : +33 (0)1 47 40 77 03 - 23 87

Email : Prénom.Nom@satie.ens-cachan.fr

Web : <http://www.satie.ens-cachan.fr/>

✓ **Lionel Mathelin**, CNRS

LIMSI : Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (UPR-3251).

B.P. 133, 91403 Orsay Cedex.

Tel : +33 (0)1 69 85 80 69

Email : Lionel.Mathelin@limsi.fr

Web : <http://www.limsi.fr/Individu/mathelin>

Durée et rémunération :

La durée est de 36 mois, débutant en octobre 2011. Le montant de la rémunération est de 1 450 € net mensuel.

Critères de sélection du candidat :

Le candidat doit avoir un solide cursus académique en automatique et un goût pour les mathématiques appliquées. Une certaine connaissance et une expérience en mécanique et en programmation (Matlab et/ou Fortran et/ou C/C++) seront appréciées.

Description détaillée

Dans le domaine du contrôle linéaire, la formulation LMI, pour *Linear Matrix Inequalities*, a connu un essor important grâce à l'existence d'algorithmes de résolution robustes et à leurs capacités à traduire un large panel de contraintes de commande. Cependant, le passage aux formulations LMI se fait au détriment de la dimension du problème qu'il est possible de traiter. Les solutions apportées restent éloignées des objectifs. En effet, malgré les propositions des automaticiens pour traiter les problèmes à très grandes dimensions (Benner (2004); Abbas-Turki *et al.* (2006)), implanter de tels correcteurs avec des contraintes d'échantillonnage strictes sur le temps de calcul entraîne inéluctablement une non faisabilité pratique. La solution consistant à appliquer une pré- ou post-réduction ne permet pas de quantifier clairement la perte d'information et de performance qu'elle induit sur la commande en boucle fermée, même s'il existe des méthodes permettant de choisir les critères favorisant la performance du système bouclé (Zhou *et al.* (1995); Zhou & Li

(2008)). Il est possible toutefois d'introduire des contraintes de structure sur le correcteur et en particulier sur la dimension.

Le premier objectif de cette thèse est de trouver des solutions de synthèse viables pour des systèmes à grandes dimensions, comme ceux rencontrés en mécanique des fluides, tout en garantissant un bon niveau de performance. Dans ce contexte, nous chercherons à bénéficier d'outils existants, numériquement robustes, par une formulation adéquate du problème de synthèse (Abbas-Turki *et al.* (2011)). Le but est donc de conjuguer les outils de l'automatique à des algorithmes numériques de synthèse pour éviter l'utilisation de variables intermédiaires, comme la matrice de Lyapunov, qui introduisent généralement une limitation de l'ordre du modèle.

Le second objectif de cette thèse est de tirer parti d'une représentation efficace de la structure des incertitudes dans la synthèse des contrôleurs pour améliorer les performances de commande, tout en garantissant sa robustesse, critère essentiel en commande. Cette dernière est classiquement traitée par la recherche du "pire cas" qui n'est malheureusement pas physiquement identifiable dans un grand nombre de cas (Ferrerres *et al.* (2003); Liu *et al.* (2008)). Nous allons donc traiter ce problème différemment : Plutôt que de pénaliser la commande, nous préférons de bénéficier des développements effectués ces dix dernières années en mécanique sur la quantification et la propagation des incertitudes dans les simulations numériques. Dans cette approche, une décomposition spectrale des variables aléatoires intervenant dans le problème physique est faite et permet de représenter très efficacement la dépendance de la solution vis-à-vis d'un ensemble de variables aléatoires indépendantes, voir par exemple (Ghanem & Spanos (1991)). La prise en compte des incertitudes, inhérentes à tout système réel, est indispensable pour assurer la stabilité de la réponse du système à la loi de commande mais également pour garantir, dans un certain sens, un niveau élevé de performance, même dans des configurations non nominales. Peu de travaux existent dans la littérature en dehors de travaux préliminaires de (Fisher & Bhattacharya (2008); Blanchard (2010)).

Ces développements sont essentiellement méthodologiques et seront mis en œuvre sur des simulations numériques académiques dans un premier temps. Une fois testés, ils seront appliqués, pour validation, sur une expérience réelle d'écoulement de cavité. Cette configuration présente plusieurs avantages (Rockwell & Naudascher (1979); Basley *et al.* (2010)) :

- L'écoulement et sa dynamique étant bien caractérisés, la complexité du problème est donc connue.
- La dynamique est facilement modifiée, que ce soit en terme de fréquence ou de largeur de spectre. La difficulté du problème de commande est alors aisément ajustée en conséquence.
- Des résultats de simulations numériques sont disponibles pour évaluer les performances de la commande et leur dégradation en présence de perturbations.
- Le banc d'expérience est déjà en place et en phase d'instrumentation (Capteurs, actionneurs, chaîne de commande).

Références

- ABBAS-TURKI M., DUC G. & CLEMENT B., Multiobjective synthesis using LMI formulations for application of the cutting plane algorithm, *European Journal of Control*, **12**, p. 40–56, 2006.
- ABBAS-TURKI M., ESQUEDA MERINO D., KASPER K. & DURIEU C., Low-computational cost estimation algorithm for adaptive optics systems, *18th IFAC World Congress, to be held in Milan, Italy*, 2011.
- BASLEY J., PASTUR L. R., LUSSEYRAN F., FAURE T. M. & DELPRAT N., Experimental investigation of global structures in an incompressible cavity flow using time-resolved PIV, *Experiments in Fluids*, [DOI 10.1007/s00348-010-0942-9], 2010.
- BENNER P., Solving large-scale control problems, *IEEE, Control Systems Magazine*, **24** (1), p. 44–59, 2004.
- BLANCHARD E. D., Polynomial Chaos Approaches to Parameter Estimation and Control Design for Mechanical Systems with Uncertain Parameters, PhD thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, *Tech. Rep.*, 2010.
- FERRERES G., MAGNI J-F. & BIANNIC J-M., Robustness analysis of flexible systems : Practical algorithms, *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, **13** (8), p. 715–733, 2003.
- FISHER J. & BHATTACHARYA R., *American Control Conference*, p. 95–100, 2008.
- GHANEM R.G. & SPANOS P.D., *Stochastic finite elements. A spectral approach*, rev. edn., Springer Verlag, 222 p., 1991.
- LIU P., ZHANG Q., YANG X. & YANG L., Passivity and Optimal Control of Descriptor Biological Complex Systems, *IEEE Transactions on Automatic Control*, **53** (8), p. 122–125, 2008.
- ROCKWELL D. & NAUDASCHER E., Self-Sustained Oscillations of Impinging Free Shear Layers, *Annual Review of Fluid Mechanics*, **11**, p. 67–94, 1979.
- ZHOU K., D’SOUZA C. & CLOUTIER J. R., Structurally balanced controller order reduction with guaranteed closed loop performance, *Systems & Control Letters*, **24**, p. 235–242, 1995.
- ZHOU Y. & LI J., Reduced-order L_2 - L_∞ filtering for singular systems : a linear matrix inequality approach, *Control Theory & Applications, IET*, **2**, p. 228–238, 2008.