

Ecole doctorale régionale Sciences Pour l'Ingénieur Lille Nord-de-France - 072

Titre : Synthèse de retours de sortie performants pour systèmes quasi-LPV : application dans le handicap

Efficient output feedback synthesis for quasi-LPV systems: application for disabled

Financement prévu : Contrat Doctoral

Cofinancement éventuel :

(Co)-Directeur de thèse : Thierry Marie Guerra (UVHC/LAMIH)

E-mail : guerra@univ-valenciennes.fr

Co-directeur de thèse : Philippe Pudlo (UVHC/LAMIH)

E-mail : Philippe.Pudlo@univ-valenciennes.fr

Co-encadrant de thèse : Zsofia Lendek (TU Cluj-Napoca, Romania)

E-mail : zsofia.lendek@aut.utcluj.ro

Laboratoire : LAMIH UMR CNRS/UVHC 8201, Valenciennes

Equipe ou Groupe de recherche : Automatique et Systèmes Homme-Machine (ASHM)

Le candidat doit avoir un très bon niveau en commande et observation des systèmes, incluant les aspects de robustesse, une connaissance des problèmes de type LMI serait appréciée.

The candidate needs a strong knowledge in the control/estimation field including robustness aspects. LMI problems knowledge would be appreciated. **French language is not necessary.**

Descriptif :

Cette thèse s'inscrit dans une forte volonté de recherche pluridisciplinaire du LAMIH UMR CNRS 8201. Cette volonté a permis de mettre en place plusieurs projets à la frontière entre différentes disciplines automatique / biomécanique / psychologie. Le LAMIH s'intéresse particulièrement à des systèmes pouvant s'adapter à des déficiences dans le cadre du handicap et/ou du vieillissement. Plusieurs travaux ont déjà vu le jour dans ce contexte : le pilotage du projet ANR VOLHAND, figure 1, pour l'assistance à la conduite de Personnes à Mobilité Réduite (PMR) avec le leader mondial des directions assistées JTEKT <http://www.univ-valenciennes.fr/volhand/> (Marouf et al. 2012), un projet de maîtrise du rythme cardiaque dans le cadre d'un effort physique – ici le vélo, figure 2, en partenariat avec la société SRDEP, un projet Fondation Sécurité Routière PISTES pour la traversée de rue de piétons âgés.

D'un point de vue théorique, les problèmes posés sont nombreux : modélisation, estimation des paramètres, robustesse, performances. Des études précédentes, il est apparu que la famille des modèles quasi-LPV pouvait apporter des réponses très intéressantes à ce type de problématiques. Il reste néanmoins des sujets théoriques ouverts : arriver à s'extraire du cadre quadratique pour réduire le conservatisme des résultats, réaliser une synthèse de retours de sortie incluant des notions de performances.

Projet de thèse

Contexte scientifique national et international

Très clairement, l'approche de la commande et de l'observation à l'aide de contraintes LMI (Linear Matrix Inequality), voire SOS (Sum-of-Squares) est aujourd'hui bien enracinée dans la communauté internationale (Boyd et al. 94, Scherer & Weiland 04, Chesi et al. 2005). Elle permet une séduisante solution à de nombreux problèmes dans le domaine linéaire et dans le domaine des systèmes LPV ou quasi-LPV. Dans le contexte de ces travaux, nous nous intéressons principalement aux systèmes quasi-LPV (les paramètres du modèle dépendent explicitement de l'état du système).

Un ensemble de résultats récents permettent de proposer des conditions qui peuvent se révéler nécessaires et suffisantes asymptotiquement. Par exemple l'utilisation des matrices de Polya permet au prix d'un nombre de variables fortement accru de résoudre asymptotiquement le problème de co-positivité (Scherer 05, Sala & Ariño 07), des conditions nécessaires et suffisantes pour un problème de co-positivité sans rajout de variables supplémentaires ont également été obtenues par triangulation dans (Kruszewski et al. 09) au prix cette fois-ci de l'augmentation du nombre de contraintes LMI, l'extension à des fonctions de Lyapunov dépendant de façon polynomiale d'un paramètre permet également de réduire le conservatisme (Chesi et al. 05, Oliveira et Perez 06) au prix d'un nombre de contraintes plus important. Enfin, dans le cas discret principalement, des résultats basés sur des fonctions non quadratiques et/ou un critère de stabilité modifié permettent de relâcher de façon très significative les résultats de la littérature (Kruszewski et al. 08).

Sujet de la thèse

Le projet de thèse se fera en collaboration avec la Technical University de Cluj-Napoca en Roumanie (Docteur Zsofia Lendek) avec laquelle plusieurs travaux en commun et différentes collaborations ont déjà vu le jour. Enfin, toujours dans un contexte international, plusieurs déplacements à l'étranger sont prévus, outre la Roumanie, l'Université de Sonora au Mexique (Docteur Miguel Bernal) pour la partie LMI et SOS et l'Ecole Polytechnique de Montréal au Canada (Professeur Paul Allard) pour la partie handicap.

Les avancées pour les systèmes quasi-LPV pour la commande par retour d'état d'un côté, et pour l'observation des systèmes non linéaires de l'autre, sont très abouties. De façon assez surprenante, le passage du retour d'état au retour de sortie est par contre assez mal cerné. Il peut se faire soit en utilisant une interconnexion retour d'état/observateur soit en utilisant un retour de sortie – statique ou dynamique – direct. Des avantages et des inconvénients existent dans les deux cas. Le problème principal, dans le cadre des quasi-LPV, est la mise sous forme d'un problème – LMI ou SOS – qui permette une solution aisée à l'aide de solvers ad hoc.

De plus, si on quitte le cadre de la stabilité quadratique et/ou si l'on veut rajouter un certain nombre de performances – H infini, D-stabilité – l'exercice devient quasiment impossible.

L'équipe de recherche a fait quelques avancées significatives dans ce contexte. On peut noter pour une combinaison retour d'état/observateur une mise sous forme LMI, quoique conservative dans (Guerra et al. 2006) ; et pour un retour de sortie, en prenant avantage du lemme d'élimination et de la redondance descripteur une mise sous forme de contraintes LMI dans (Chadi & Guerra 2012). De nouvelles

perspectives s'ouvrent à partir de ces différents travaux, notamment par l'utilisation de formes spécifiques de commande et de fonctions de Lyapunov.

Les applications visées entrent dans le cadre de projets soutenus par l'Institut Fédératif de Recherche sur le Handicap, Fédération de Recherche CNRS : 2AP-MS (Assistance Adaptée et Personnalisée pour la Mobilité des Séniors) lauréat de l'appel à projet interdisciplinaire « Vieillesse » du CNRS 2001 et PA-PMR (Personnalisation de l'assistance pour personnes à mobilité réduite) déposé dans le cadre de l'appel d'offres « Projets Emergents » de la Région Nord Pas-de-Calais 2012. Dans le contexte des Personnes à Mobilité Réduite, une première variable importante à maîtriser est le rythme cardiaque au cours de l'effort. Une connaissance certaine du domaine existe et des expérimentations sur des patients ont fait leur preuve dans un contexte proche (Mohammad et al. 2011), figure 2. D'autre part, pour limiter les contraintes musculo-tendineuses et articulaires (inconfort et dégénérescence), il est nécessaire de pouvoir estimer les efforts générés. La solution envisagée est, à partir d'un modèle mécanique des membres de la PMR, de construire un observateur non linéaire à entrées inconnues. Cette approche a déjà été utilisée avec succès pour l'estimation des couples articulaires durant le mouvement humain en station debout (Guelton & al. 2008).

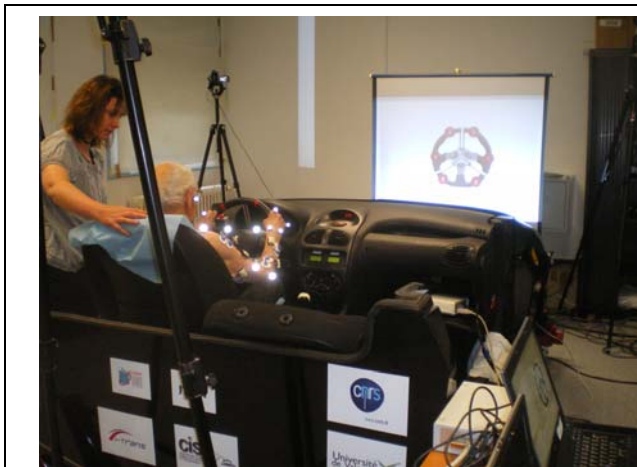


Figure 1 : Prototypé Projet VOLHAND

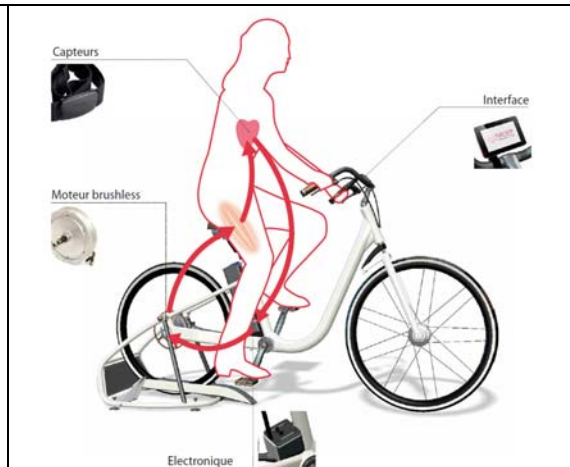


Figure 2 : contrôle du rythme cardiaque

PhD Project

The PhD will be done in collaboration with the Technical University of Cluj-Napoca, Romania (Docteur Zsofia Lendek), many works have already been done together. It is also intended for the candidate to do a period (at least 3 months) at the Sonora University in Mexico (Dr Miguel Bernal) for LMI and SOS problems and at Polytechnical School of Montreal, Canada (Pr Paul Allard).

Nowadays, stability and performances conditions using a Lyapunov quadratic function for LPV models or quasi-LPV models (so-called Takagi-Sugeno models) are well-known (Scherer & Weiland 04). They are generally put into the form of LMI (Linear Matrix Inequalities) and/or SOS (Sum-of-Squares) constraint problems (Boyd et al. 94). We are particularly interested in the quasi-LPV context in this PhD.

Among the recent results that allow reducing the conservatism and, giving sometimes asymptotically necessary and sufficient conditions we can cite: introduction of Polya matrices to solve the co-positivity problem introducing a huge number of slack variables (Scherer 05, Sala & Ariño 07), a triangulation approach to solve the same problem (also proposing some necessary conditions) introducing a huge number of LMI constraints (Kruszewski et al. 09), the extension to polynomial parameter-dependent Lyapunov functions (Chesi et al. 05, Oliveira et Perez 06) with a serious increase in the number of LMI constraints. At last, in the discrete case some new stability criterion can be used: the basic idea is that waiting long enough a stable model will converge towards its equilibrium and, therefore, the Lyapunov functions under consideration are not necessarily decreasing at every sample, but are allowed to decrease every k samples. Whatever it is $k > 1$, the results are proved to include the standard one-sample case (Kruszewski et al. 08).

Nowadays, state feedback results as well as estimation ones, for non linear systems via quasi-LPV and LMI/SOS tools are well accomplished. Surprisingly, going from state feedback to output feedback is still a difficult problem. It can be done using whether an interconnection state feedback/estimation or a direct – static or dynamic – output feedback. Advantages and drawbacks exist for both ways of doing. The main problem, in the context of quasi-LPV systems, remains in finding suitable LMI/SOS constraints problems that can be solved with ad hoc solvers. It is even worse if some performances are to be introduced, such as H infinity or D-stability.

The LAMIH research team has done some significant advances in this domain. A LMI formulation, somewhat conservative, has been reached in the case of state feedback/estimation in (Guerra et al. 2006). For direct output feedback of quasi-LPV systems, a LMI formulation has been obtained in (Chadli & Guerra 2012). It uses the so-called Finsler lemma and the specific redundancy of a descriptor form. New perspectives are possible based on these new results and both new control laws and new Lyapunov functions.

Experimental platforms will be used to validate the results. They will be part of numerous projects based on disabled people: VOLHAND project <http://www.univ-valenciennes.fr/volhand/>, consists in a steering assistance for elderly and/or disabled people with the world leader in steering wheels JTEKT; a project of heart rate modeling and robust control during cycling exercise (Mohammad et al. 2011), figure 2, with a French company SRDEP; a project PISTES for pedestrian street crossing. Nowadays the expertise of the LAMIH team in the control/estimation in this context covers a huge area, from control of heart rate (Mohammad et al. 2011) to estimation in human stance (Guelton et al. 2008) via specific design of assistance in the case of steering wheels (Marouf et al. 2012).

References

- Boyd S., El Ghaoui L., Feron E., Balakrishnan V., 1994. Linear Matrix Inequalities in system and control theory. SIAM, Philadelphia, PA
- M. Chadli, T.M. Guerra (2012) – LMI Solution for Robust Static Output Feedback Control of Takagi-Sugeno Fuzzy Models – IEEE Transactions on Fuzzy Systems (To appear)
- Chesi G., Garulli A., Tesi A., Vicino A., 2005. Polynomially parameter-dependent Lyapunov functions for robust stability of polytopic systems: an LMI approach, IEEE Transactions on Automatic Control (50) 365-370
- K. Guelton, S. Delprat, T.M. Guerra (2008) – An alternative to inverse dynamics joint torques estimation in human stance based on a Takagi–Sugeno unknown-inputs observer in the descriptor form – Control Engineering Practice 16 1414-1426
- T.M. Guerra, A. Kruszewski, L. Vermeiren, H. Tirmant (2006). Conditions of output stabilization for nonlinear models in the Takagi-Sugeno's form - Fuzzy Sets & Systems 157 (9), 1 May 2006, 1248-1259
- Kruszewski A., Wang R., Guerra T.M., 2008. Non-quadratic stabilization conditions for a class of uncertain non linear discrete-time T-S fuzzy models: a new approach. IEEE Transactions on Automatic Control, 53 (2), pp. 606-611
- A. Kruszewski, A. Sala, T.M. Guerra, C. Ariño (2009) – A triangulation approach to asymptotically exact conditions for fuzzy summations – IEEE Transactions on Fuzzy Systems 17 (5), 985-994
- A. Marouf, M. Djemaï, C. Sentouh, P. Pudlo (2012). A New Control Strategy for an Electric Power Assisted Steering System. IEEE-Trans. on Vehicular Technology, to appear
- S. Mohammad, T.M. Guerra, J.M. Grobois, B. Hecquet (2011) – Heart rate control during cycling exercise using Takagi-Sugeno models – IFAC World Congress, Milano, Italy
- Oliveira R.C.L.F., Peres P. 2006. LMI conditions for robust stability analysis based on polynomially parameter-dependent Lyapunov functions, System and Control Letters (55) 52-61
- Sala A., Arino C., 2007. Asymptotically necessary and sufficient conditions for stability and performance in fuzzy control: Applications of Polya's theorem, Fuzzy Sets and Systems, 158 (24), 2671-2686
- C. Scherer, Relaxations for robust linear matrix inequality problems with verifications for exactness, SIAM J. Matrix Anal. Appl. 27 (2) (2005) 365–395.
- Scherer C., Weiland S, 2004. Linear Matrix Inequalities in Control (lecture notes)