

Conception d'Observateurs Non Linéaires – Vers la Fin des Relaxations LMIs

Marouane Alma, Ali Zemouche

1. Contexte de la thèse

L'estimation de l'état des systèmes dynamiques est un domaine de recherche important et crucial pour les systèmes de contrôle, le diagnostic et le monitoring. Par ailleurs, l'utilisation des observateurs d'état a été poursuivie dans de nombreuses applications modernes et essentielles, à savoir l'auto-synchronisation des systèmes multi-agents, le consensus dans les réseaux de systèmes, détection de cyber-attaques ou de déni de service.

Dans le cas des systèmes non linéaires, le problème de conception d'un observateur d'état devient un problème difficile et compliqué, et ceci est dû à la complexité de la structure des non-linéarités du système dans certaines situations. Des approches bien connues ont été proposées dans la littérature. Par exemple, l'observateur à grand-gain, le filtre de Kalman étendu, les observateurs basés sur la résolution de conditions LMIs (Linear Matrix Inequalities), les méthodes basées sur les transformations non linéaires et les formes normales d'observabilité, et enfin les méthodes d'estimation basées sur les fonctions modulatrices. Malgré ces techniques puissantes [1]-[8], le problème est loin d'être définitivement résolu pour les systèmes non linéaires en général. De nombreuses pistes de recherche restent à exploiter afin d'améliorer les méthodes actuelles. Cette thèse s'inscrit dans ce contexte.

2. Objectif de la thèse

Dans le cadre de cette thèse, nous nous travaillerons sur le développement de nouvelles méthodes de conception d'observateurs non linéaires. La thèse sera focalisée sur les techniques LMIs, un domaine dans lequel l'équipe encadrante est experte. En effet, après une dizaine d'année de travail dans ce domaine, nous nous sommes rendu compte que toutes les méthodes existantes dans la littérature échouent particulièrement pour certaines classes de systèmes non linéaires, à savoir les systèmes dont toutes les non-linéarités du modèle ou toutes les non-linéarités dans les mesures sont non-monotones. Une solution a été proposée dans [9]-[10] pour surmonter cet obstacle en proposant un observateur hybride qui commute entre différentes régions de monotonie. Cette solution est puissante, mais elle est loin d'être parfaite à cause de quelques inconvénients liés à la règle de commutation. Pour mieux relaxer les méthodes LMI actuelles, nous avons de nouvelles idées qui consistent à considérer de nouvelles structures d'observateurs et des transformations de certaines non-linéarités du système. Nous envisageons de considérer l'analyse mathématique de la faisabilité des conditions LMIs en faisant impliquer la structure de la non-linéarité du système ainsi que ses propriétés qualitatives au lieu de ses propriétés quantitatives seulement, comme c'est le cas usuel dans la littérature. Ce challenge n'a jamais été évoqué dans la littérature dans le contexte LMIs. Les propriétés qualitatives des non-linéarités seront prises en compte dans les LMIs, ce qui mènera à introduire une sorte de « distance d'infaisabilité ». Cette distance peut être vue comme une métrique qui mesure la faisabilité des conditions LMIs par rapport à la non-linéarité du système. Ces challenges mathématiques ont été motivés par des applications spécifiques dans lesquelles

l'équipe encadrante est impliquée récemment, à savoir les véhicules autonomes connectés, les processus de biogaz, et les capteurs magnétiques. Cette thèse fournirait une limite aux méthodes de relaxation LMIs.

Mot clefs : Observateurs ; estimation ; systèmes non linéaires ; théorie de Lyapunov ; dynamique du véhicule ; processus de biogaz ; capteurs magnétiques.

Références

- [1] A. Zemouche, F. Zhang, F. Mazenc and R. Rajamani, "High Gain Nonlinear Observer with Lower Tuning Parameter. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 64, n°8: 3194-3209, 2019.
- [2] A. Zemouche, R. Rajamani, G. Phanomchoeng, B. Boukroune, H. Rafaralahy, M. Zasadzinski. Circle Criterion-Based \mathcal{H}_∞ Observer Design for Lipschitz and Monotonic Nonlinear Systems - Enhanced LMI Conditions and Constructive Discussions. *Automatica*, vol. 85, n°11: 412-425, 2017.
- [3] R. Rajamani, Y. Wang, G. Nelson, R. Madson, A. Zemouche. Observers with Dual Spatially Separated Sensors for Enhanced Estimation - Industrial, Automotive and Biomedical Applications. *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 37, n°3: 42-58, 2017.
- [4] A Chakrabarty, MJ Corless, GT Buzzard, SH Žak, AE Rundell. State and unknown input observers for nonlinear systems with bounded exogenous inputs. *IEEE Transactions on Automatic Control* 62 (11), 5497-5510, 2017.
- [5] B Açıkmeşe, M Corless. Observers for systems with nonlinearities satisfying incremental quadratic constraints. *Automatica*, 47 (7), 1339-1348, 2011.
- [6] K. Chaib-Draa, A. Zemouche, M. Alma, H. Voos, M. Darouach. A Discrete-Time Nonlinear State Observer for the Anaerobic Digestion Process. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 29, n°5, pp. 1279-1301, May 2019.
- [7] Blondel, P., Postoyan, R., Raël, S., Benjamin, S., & Desprez, P. (2019). Nonlinear circle-criterion observer design for an electrochemical battery model. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 27(2), 889-897.
- [8] Y. Wang, R. Rajamani and D.M. Bevly, "Observer Design for Parameter Varying Differentiable Nonlinear Systems, with Application to Slip Angle Estimation," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 62, no. 4, pp. 1940-1945, April, 2017.
- [9] W. Jeon, A. Zemouche, R. Rajamani. Tracking of Vehicle Motion on Highways and Urban Roads Using A Nonlinear Observer. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, regular paper*, vol. 24, n°2, pp. 644-655, April 2019.
- [10] H. Movahedi, A. Zemouche, R. Rajamani. Linear Position Estimation on Smart Actuators Using a Nonlinear Observer. *2019 American Control Conference, ACC'19, Philadelphia, Pennsylvania, USA, July 2019.*

Contacts :

Marouane Alma: marouane.alma@univ-lorraine.fr

Ali Zemouche : ali.zemouche@univ-lorraine.fr

Profil recherché : Master en Automatique ou en Mathématiques Appliquées

Financement : Contrat Université de Lorraine

Début de la thèse : 01 Octobre 2020

Durée du contrat : 3 Ans