

Titre: Différentiateurs avancés basés sur des paramètres adaptatifs - application à des systèmes d'énergie

Encadrant	Nom	Prof. Franck PLESTAN
	Établissement	École Centrale de Nantes
Co-Encadrant	Nom	Prof. Malek GHANES
	Établissement	École Centrale de Nantes

Résumé

L'objectif de la thèse est le développement de nouveaux types de différentiateurs, basés sur la théorie des modes glissants et l'homogénéité. Cette classe sera inspirée de lois de commandes par modes glissants à gain adaptatif et de solutions de différentiation très récentes utilisant des exposants variables. L'idée est de trouver un compromis entre précision et sensibilité au bruit en agissant de manière dynamique sur les gains et les exposants. Ces nouveaux schémas de différentiateurs seront utilisés dans des schémas de contrôle et appliqués à des systèmes énergétiques (machines électriques, éoliennes)

Description

Contexte

Les approches de contrôle avancées (retour d'état par exemple) offrent des performances élevées. Cependant, elles nécessitent également de nombreuses informations du système qui peuvent être, dans de nombreux cas, incertaines et mal connues. Si ces informations ne sont ni mesurées ni accessibles, il est nécessaire de les estimer. Par exemple, la position est mesurée mais la vitesse ou l'accélération apparaissent dans la loi de commande. En outre, l'état complet d'un système n'est pas disponible, mais si le système est observable, l'état estimé peut être déduit du vecteur de mesure et d'un nombre fini de ses dérivées temporelles. Afin de rendre un système en boucle fermée plus robuste, il est également possible (sous certaines conditions structurelles) d'estimer une perturbation externe (considérée comme une entrée inconnue). Enfin, de nombreuses lois de contrôle requièrent la connaissance de la sortie contrôlée et de certaines de ses dérivées temporelles d'ordre élevé. En conclusion, le contrôle avancé nécessite une différentiation des mesures qui apparaît comme un point clé.

Le problème consiste à estimer les dérivées temporelles des mesures malgré la présence de bruit. De nombreuses solutions sont possibles pour répondre, au moins partiellement, à ce problème. Ce projet sera consacré à la différentiation exacte en temps fini qui est un problème étudié ces dernières années [Angulo12, Fridman08, Diop00, Hammadih16, Levant98, Levant12, Moreno11, Perruquetti08, Polyakov14]. Deux principales approches peuvent être citées: la première repose sur des outils algébriques [Mboup09] et la seconde sur la théorie des modes glissants. Notez également le travail de [Diop00] dans lequel le signal est approximé par un polynôme sur un intervalle de temps. La différentiation de ce polynôme est alors triviale. Le principal avantage des différentiateurs par mode glissant est leur robustesse.

Cependant, même si ces différentiateurs ne sont pas sensibles aux perturbations et donnent une estimation sans retard et en un temps fini, leur précision est dégradée lorsque le signal est affecté par le bruit. Les algorithmes de différentiation linéaire ont, quant à eux, d'autres propriétés. Ils sont moins sensibles au bruit de mesure, mais ils ne sont pas robustes faces aux perturbations et n'assurent pas une convergence en temps fini [Ghanes17]. Pour tenir compte à la fois des avantages

du différentiateur linéaire et du mode glissant (bonne précision et moins de sensibilité au bruit), un travail récent du LS2N et totalement nouveau traitant des exposants à gain variable (différentiation du premier ordre) a été proposé dans [Ghanes17, Ghanes19]. Cet exposant est rendu variable par rapport à l'amplitude du bruit haute fréquence.

L'objectif de la thèse consiste à étendre les approches développées précédemment au LS2N, notamment à des ordres supérieurs. Comme expliqué précédemment, ce nouveau concept de différenciation permet de modifier les caractéristiques du différentiateur en ce qui concerne la présence (ou non) de bruit de mesure. Cette classe de différentiateurs a déjà montré son efficacité sur un système réel (machine électrique, actionneur électropneumatique). Ensuite, l'objectif est d'étudier les différentiateurs d'ordre élevé basés sur des techniques de mode glissant en considérant

- des exposants variables. Ces paramètres du différentiateur varient en fonction de l'amplitude du bruit haute fréquence (comme pour les différentiateurs du premier et du second ordre dans [Ghanes17], [Ghanes19]). L'idée est de faire un compromis entre précision (différenciateur basé sur le mode glissant) et insensibilité au bruit (différenciateur linéaire) ;
- des gains variables. Les paramètres varient en ce qui concerne la précision et doivent neutraliser l'effet des perturbations ou des incertitudes. L'idée est maintenant admise dans le cadre de la commande par modes glissants (commande dite adaptative) mais est marginale pour la différenciation (à l'exception du *supertwisting* pour lequel le LS2N a participé aux travaux proposant pour la première fois une version adaptative du *supertwisting* [Shtessel12]. Notez que le LS2N a une grande expérience des versions adaptatives de stratégies de commande par modes glissants [Plestan10, Shtessel12, Taleb13, Taleb15, Castaneda16, Yan16]).

De tels schémas de différenciation sont nouveaux et n'ont pas encore été considérés dans la littérature. Ils permettent de traiter l'influence du bruit et des perturbations grâce à différents paramètres. Ce faisant, le réglage des gains sera simplifié.

Plan de travail

- Analyse bibliographique sur la différenciation robuste, de la théorie des modes glissants, de la commande par mode glissant et homogène, du contrôle des systèmes énergétiques ;
- Développement d'un différentiateur du second ordre basé sur une approche mode glissant / homogénéité, avec des gains et exposants variables;
- Extension du résultat précédent à la différenciation d'ordre élevé;
- Application aux systèmes énergétiques (utilisation de différentiateurs dans les schémas de commande de machines électriques et d'éoliennes; preuve formelle de la stabilité en boucle fermée).

Prérequis

- Automatique, commande non linéaire, estimation.

Références

[Angulo12] M.T. Angulo, J. A. Moreno and L. Fridman, « The differentiation error of noisy signals using the Generalized Super-Twisting differentiator », *IEEE Conference on Decision and Control*, Maui, Hawaii, USA, 2012.

[Castaneda16] H. Castaneda, F. Plestan, A. Chriette, and J. de Leon-Moralès, « Continuous differentiator based adaptive second order sliding mode control of a 3-DOF helicopter », *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.63, no.9, pp.5786-5793, 2016.

- [Diop00] S. Diop, J.W. Grizzle and F. Chaplais, « On Numerical Differentiation Algorithms for Nonlinear Estimation », *IEEE Conference on Decision and Control*, Sydney, Australia, 2000.
- [Fridman08] L. Fridman, Y. Shtessel, C. Edwards and X-G. Yan, « Higher-order sliding-mode observer for state estimation and input reconstruction in nonlinear systems », *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol.18, no.5, pp. 399-412, 2008.
- [Ghanes17] M. Ghanes, J.-P. Barbot, L. Fridman, and A. Levant, "A novel differentiator: A compromise between super twisting and linear algorithms", *IEEE Conference on Decision and Control CDC*, Melbourne, Australia, 2017.
- [Ghanes19] M. Ghanes, J.-P. Barbot, L. Fridman, A. Levant and R. Boisliveau, "A new varying gain exponent based differentiator/observer: an efficient balance between linear and sliding-mode algorithms", Provisionally accepted, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2019.
- [Hammadih16] M.L. Hammadih, K. Al Hosani and I. Boiko, « Interpolating sliding mode observer for a ball and beam system », *International Journal of Control*, vol.89, no.9, pp.1879-1889, 2016.
- [Levant98] A. Levant, « Robust exact differentiation via sliding mode technique », *Automatica*, vol.34, no.3, pp. 379-384, 1998.
- [Levant03] A. Levant, « Higher-order sliding modes, differentiation and output-feedback control », *International Journal of Control*, vol.76, no.9-10, pp.924-941, 2003.
- [Levant12] A. Levant, and M. Livne, « Exact differentiation of signals with unbounded higher derivatives », *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol.57, no.4, pp.1076-1080, 2012.
- [Mboup09] M. Mboup, C. Join, and M. Fliess, « Numerical differentiation with annihilators in noisy environment », *Numerical Algorithms*, vol.50, no.4, pp. 439-467, 2009.
- [Moreno11] J. Moreno, « Lyapunov Approach for Analysis and Design of Second Order Sliding Mode Algorithms », Chapt. 4, *Sliding Modes*, LNCIS 412, pp. 113-149. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, Germany, 2011.
- [Perruquetti08] W. Perruquetti, T. Floquet, and E. Moulay, « Finite-time observers: Application to secure communication », *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol.53, no.1, pp. 356-360, 2008.
- [Plestan10] F. Plestan, Y. Shtessel, V. Brégeault, and A. Poznyak, « New methodologies for adaptive sliding mode control », *International Journal of Control*, Vol.83, No.9, pp. 1907-1919, 2010.
- [Polyakov14] A. Polyakov, D. Efimov, and W. Perruquetti, « Homogeneous Differentiator Design using Implicit Lyapunov Function Method », *European Control Conference ECC*, Strasbourg, France, 2014.
- [Shtessel12] Y. Shtessel, M. Taleb, and F. Plestan, « A novel adaptive-gain *supertwisting* sliding mode controller: methodology and application», *Automatica*, vol.48, no.5, pp. 759-769, 2012.
- [Taleb13] M. Taleb, A. Levant, et F. Plestan, « Electropneumatic actuator control: solutions based on adaptive twisting algorithm and experimentation», *Control Engineering Practice*, vol.21, no.5, pp. 727-736, 2013.
- [Taleb15] M. Taleb, F. Plestan, et B. Bououlid, « An adaptive solution for robust control based on integral high order sliding mode control », *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol.25, no.8, pp.1201-1213, 2015.

[Yan16] X. Yan, A. Estrada, and F. Plestan, «Adaptive pulse output feedback controller based on second order sliding mode: methodology and application», *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol.24, no.6, pp.2233-2240, 2016.