

***Synthèse de commandes non linéaires robustes : backstepping et sliding mode.  
Applications sur les systèmes électropneumatiques***

**M.SMAOUI, X. BRUN, D. THOMASSET**

**Laboratoire d'Automatique Industrielle**

<http://www-lai.insa-lyon.fr>

INSA de Lyon, Bâtiment Antoine de Saint Exupéry  
25, Avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne Cedex, FRANCE  
Tel: 04 72 43 81 98 Fax: 0 4 72 43 85 35

Email : [mohamed.smaoui](mailto:mohamed.smaoui), [xavier.brun](mailto:xavier.brun), [daniel.thomasset](mailto:daniel.thomasset) @insa-lyon.fr

Extended Abstract / Résumé Etendu

Nous présentons l'intérêt de commandes non linéaires robustes pour les systèmes électropneumatiques. L'objectif étant de pouvoir asservir en position le déplacement d'un objet via un actionneur électropneumatique piloté par deux servodistributeurs. Ce type de système est soumis à de nombreuses variations paramétriques : frottements, fuites, masse variable en mouvement, température... Il a été constaté expérimentalement que les lois de commandes aujourd'hui utilisées sur les systèmes à fluide sous pression ne sont pas robustes vis à vis des paramètres précités. Notre étude a pour but de synthétiser et expérimenter deux stratégies de commandes.

Dans un premier temps l'apport des modes glissants est mis en évidence: synthèse de commandes par mode glissant d'ordre 1 ou d'ordre supérieur [Levant 1993] à l'aide de différents algorithmes (twisting, super twisting ou autres). La commande à structure variable (CSV) [Utkin, 1977; Slotine, 1984 ; Slotine *et al.*, 1991], qui par sa nature est une commande non linéaire robuste [Utkin, 1992] est basée sur la commutation de fonctions d'états, utilisées pour créer une surface de glissement, dont le but est de forcer la dynamique du système à correspondre avec celle définie par l'équation de la surface. Quand l'état est maintenu sur cette surface, le système se trouve en régime glissant. Sa dynamique est alors insensible aux perturbations extérieures et paramétriques tant que les conditions du régime glissant sont assurées. Des résultats expérimentaux [Smaoui *et al* 04] mettent en avant les avantages et inconvénients de ces méthodes.

Dans un second temps, les techniques du backstepping [Krstic *et al.*, 1995] sont étudiées et adaptés aux modèles des systèmes électropneumatiques. Le backstepping est un algorithme récursif qui permet un choix adéquat des fonctions de Lyapunov permettant ainsi de garantir la stabilité du système. Les origines de cette approche peuvent être tracées à partir des travaux de [Sontag & al., 1988]. Dans cette application, l'utilisation d'une commande virtuelle va préparer la contribution ultérieure de [Sussman, 1991; Kanellakopoulos *et al.*, 1991] dans laquelle un système non-linéaire a été décomposé en deux sous-systèmes, le premier sous-système étant commandé virtuellement par un état du deuxième sous-système. Ainsi, la commande virtuelle est considérée comme étant la commande actuelle qui va stabiliser le bloc non-linéaire du système. Une variable d'erreur tient compte du fait que les deux commandes réelles et virtuelles ne sont pas égales (sauf à la dernière étape de l'algorithme), [Khalil, 2001].

Les résultats expérimentaux obtenus, sont comparés à d'autres lois de commandes non linéaires, linéarisation entrées/sorties [Isidori 89, Brun *et al* 02], commande utilisant le concept de platitude [Fliess *et al* 95, Brun *et al* 02].

## Références

- Levant A., "Sliding order and sliding accuracy in sliding mode control", *International Journal of Control*, vol.58, n°.6, 1993, p.1247-1263.
- Utkin V.I., "Variable structure systems with sliding modes", *IEEE Trans. Automat. Control*, vol.26, n°.2, 1977, p. 212-222.
- Slotine J. J. E., "Sliding mode controller design for nonlinear systems", *International Journal of Control*, vol.40, n°.2, 1984, p.421-434.
- Slotine J. J. E., Li W., *Applied Nonlinear Control*. Prentice-Hall, 461p, 1991.
- Utkin V.I., *Sliding Mode in Control and optimization*. Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- Smaoui, M., Brun, X., Thomasset D., "A robust multivariable control for an electropneumatic system using backstepping design", Symposium on Nonlinear Control Systems, NOLCOS 6<sup>th</sup> IFAC symposium, Stuttgart, 1-3 Septembre 2004
- Krstić M., Kanellakopoulos I., Kokotović P., *Nonlinear and Adaptive Control Design*, John Wiley & Sons, 563 p., 1995.
- Sontag E.D., Sussman H.J., "Further comments on the stabilizability of the angular velocity of a rigid body", *Systems and Control letters*, vol.12, 1988, p 437-442.
- Sussman H.J., Kokotović P., "The peaking phenomenon and the global stabilization of nonlinear systems", *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol 39, 1991, p. 424-440.
- Kanellakopoulos I., Kokotović P., Morse A.S., "Systematic design of adaptive controllers for feedback linearizable systems", *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 36, 1991, p. 1241-1253.
- Khalil H., *Nonlinear Systems*, Prentice-Hall, third edition, 750 p. , 2001.
- Isidori, A., *Nonlinear control systems*. New York : Springer Verlag, 2<sup>nd</sup> edition, 479 p, 1989.
- Brun, X., Thomasset D., Bideaux E., "Influence of the process design on the control strategy: application in electropneumatic field", *Control Engineering Practice*, Volume 10, Issue 7, July 2002, Pages 727-735.
- Fliess M., Levine J., Martin P., Rouchon P., "Flatness and defect of non-linear systems: Introductory, theory and applications", *International Journal of Control*, 61, 1995, p. 1327-1361.