

CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire, nous avons essayé d'étudier le problème de la commande robuste d'une classe particulière des systèmes non linéaires. L'approche considérée tout au long de ce travail repose principalement sur la notion des systèmes LPV. Cette approche a pour ambition de proposer un outil d'analyse de et synthèse de lois de commande robuste des systèmes non linéaires et parfois non stationnaire en utilisant le concept H_∞ et la modélisation LPV. Le premier pas dans cette direction est fourni par deux propositions permettant de caractériser un système non linéaire par un système LPV sous forme polytopique. Le deuxième pas concerne, l'utilisation des outils de la commande robuste, à base des LMI et H_∞ , qui vont permettre d'obtenir une loi de commande LPV assurant la stabilité et les performances du système LPV obtenu.

Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous avons rappelé les notions stabilité des systèmes dynamiques, où nous avons développé deux grandes approches. La première s'appuie sur la théorie de Lyapunov et la seconde repose sur un concept plus récent de stabilité entrée/sortie. Nous avons insisté aussi sur les difficultés soulevées par l'étude des systèmes non stationnaires dans le cas général et soulignerons de ce fait, l'importance du choix d'un modèle. Notre étude est limitée à la classe des systèmes linéaires à paramètres variants (LPV) et la modélisation polytopique permettant la simplification de la mise en oeuvre des méthodes d'analyse et a fortiori de synthèse.

Dans un deuxième temps, nous avons détaillé l'approche H_∞ qui permet d'intégrer a priori des spécifications de performance et de robustesse. Plus précisément $F(P,K)$ contient l'ensemble des transferts en boucle fermée construits à partir des entrées/sorties, augmenté des pondérations servant de gabarits à ces transferts. Il est important de remarquer qu'un grand nombre de spécifications d'un cahier des charges peuvent être traduites sous la forme de contraintes fréquentielles. c'est bien évidemment le cas des spécifications fréquentielles mais aussi des spécifications temporelles relativement courantes comme le temps de montée, le temps de réjection, la limitation de l'amplitude d'un signal. La construction du critère H_∞ se fait directement à partir du cahier des charges. En effet contrairement à d'autres approches comme la commande LQG, le critère n'est pas unique, on le choisit en fonction des spécifications de performance et de robustesse. C'est ce qui peut apparaître plus complexe mais néanmoins beaucoup plus adapté à un problème d'automatique qu'un critère unique ne

décrivant que très partiellement et imparfaitement ce que l'on recherche. Il apparaît deux étapes qui sont intimement liées. La première consiste à déterminer les vecteurs d'entrées/sorties w et z . Ce choix se fait très naturellement à partir des spécifications du cahier des charges puisque les entrées w correspondent aux entrées de la boucle fermée et les sorties z aux sorties à contrôler. Le choix des pondérations est moins direct. Néanmoins ce choix se fait lui aussi à partir des spécifications car l'inverse des pondérations correspond à des gabarits que doivent satisfaire les transferts en boucle fermée. Or la forme de ces transferts en boucle fermée est dictée par le cahier des charges. Il apparaît donc un lien direct entre le choix des pondérations et les spécifications du cahier des charges. A priori on peut penser que l'on a un grand nombre de degrés de liberté pour la synthèse H_∞ . Néanmoins ces degrés de liberté sont directement associés à des spécifications du cahier des charges. Ils ont donc une interprétation physique qui est liée au comportement désiré de la boucle fermée.

Une fois les filtres de pondération sont désignés, il ne reste plus qu'à exprimer le problème standard H_∞ sous forme d'un problème d'optimisation convexe (LMI), et de construire le modèle polytopique de la forme standard pondérée.

Les algorithmes de synthèse d'une loi de commande à paramètre variable, nécessitent en effet une modélisation particulière de la dépendance paramétrique, telle que la forme polytopique. Or, cette dernière correspond rarement à la forme initiale des modèles rencontrés dans les applications, qui dans la plupart des cas, présentent des non linéarités. Naturellement, par le biais des techniques LPV, nous ne prétendons pas résoudre tous les problèmes que pose la commande des systèmes non linéaires. Cependant, dans le cas de la commande d'un robot sous-actionné, nous avons pu mettre en évidence une approche générique de construction de modèles LPV à partir des équations non linéaires de la mécanique.

Dans ce travail, nous avons concentré une part importante de nos efforts aux développements d'applications réalistes et variées. Les méthodes théoriques proposées ont donc fait l'objet d'un codage numérique sur Matlab, utilisant les outils de résolution de LMI control toolbox

Les techniques LPV ont également permis la conception d'une loi de commande pour le pilotage en incidence d'un missile sur un grand domaine de vol.

Bibliographie

- [1] Apkarian, P., Gahinet, P. Becker, G. "Self-scheduled H_∞ control of linear parameter varying systems," to appear in *Automatica*, 1995
- [2] Apkarian, P., Gahinet, P. "A convex characterization of gain-scheduled H_∞ controllers," to appear in *IEEE Trans. Aut. Contr.*, 1995.
- [3] Apkarian, P., P. Gahinet, and Biannic. J. M. "Self-scheduled H_∞ control of a missile via LMIs" Decision and Control. Lake Buena Vista. 1994
- [4] Alazard. D., Apkarian. P., Cumer. C., Gauvrit. M., Ferreres. G. "Robustesse et commande optimale" CEPAD.1999.
- [5] Aström. K. J., Wittenmark. B. "Adaptive control" Wesley Publishing Company.1989
- [6] Becker, G., Packard, P. "Robust performance of linear parametrically varying systems using parametrically dependent linear feedback," *Systems and Control Letters*, 23 (1994), pp. 205–215.
- [7] Becker, G. Packard, A. Philbrick, D., Balas. G. "Control of parametrically dependent linear systems . a single quadratic lyapunov approach". In proceedings of ACC. San Francisco. CA.1993
- [8] Biannic J.M., Apkarian. P. "A convex characterization of self.scheduled H_∞ controllers". In proceedings of IFAC Conference on System Structure and Control. Nantes. Fr. July 1995.
- [9] Biannic. J.M. "Commande robuste des systèmes à paramètres variable : application en aéronautique" thèse. 1996.
- [10] Biannic, J.M., Apkarian, P., Leletty. L. "A quadratic H_∞ performance approach to gain scheduling of a missile autopilot". In proceedings of the Workshop on Var Struct and Lyap Tech. Benevento. IT.Sept 1994
- [11] Boukas. El-Kébir. "Systèmes asservis" Ecole Polytechnique De Montréal. 1995
- [12] Carsten. S., Siep .W. "Linear matrix inequalities in control" Lecture Notes DISC Course.1999
- [13] Desoer. C.A., Vidyasagar. M. "Feedback systems input.ouput properties". Electrical sciences. Academic Press 1975
- [14] Doyle, J.C., Glover, K., Khargonekar, P., and Francis, B. "State-space solutions to standard H_2 and H_∞ control problems," *IEEE Trans. Aut. Contr.*, AC-34 (1989), pp. 831–847.

- [15] Duc.G., Font. S. "Commande H_∞ et μ – Analyse : des outils pour la robustesse." Automatique. Hermès. paris 1999
- [16] Gahinet, P., and P. Apkarian. "A linear matrix inequality approach to H_∞ control," In *J. Robust and Nonlinear Contr.*, 4 (1994), pp. 421–448.
- [17] Gahinet, P. "Explicit controller formulas for LMI-based H_∞ synthesis," submitted to *Automatica*. Also in *Proc. Amer. Contr. Conf.*, 1994, pp. 2396–2400.
- [18] Gahinet. P., Nemirovski. A., Alan J. Laub., Chilali M. "LMI control toolbox" Mathwork .1995.
- [19] Hired. A. "Pilotage robuste d'un missile sur un large domaine de vol synthèse et analyse dans le cadre H_∞ et LPV" thèse. Orsay 1999.
- [20] Hong, K.S., Wu, J.W., Lee. K.I. "New conditions for the exponential stability of evolution equations". *IEEE Trans Automat Contr.*, 39(7) : 1432-1436, July. 1994
- [21] Ilchmann, A., Owens, D.H., Pratzel-Wolters. D. "Sufficient conditions for stability of linear time.varying systems". *Syst Contr Letter* 9 : 157-163, 1987
- [22] Jacques. B., Alain. O. "Conception de commande robustes" Automatique. Hermès. Paris 2002.
- [23] Jeremy. G., Van Antwerp., richard. D., Braatz. " A tutorial on linear and bilinear matrix inequalities" Elsevier *Process Control* 10 (2000) 363- 385.
- [24] Kajiwara. H., Apkarian. P., Gahinet, P. "LPV Techniques for Control of an Inverted Pendulum" 0272-1708/99. IEEE 1999.
- [25] Khalil. H.K. "Nonlinear systems". Macmillan publishing company.1992
- [26] Krasovskii. N.N. "Stability of motion". Stanford university press. Stanford. CA 1963
- [27] Lamnabhi. L.L., Rouchon pierre. " Systèmes non linéaires" Automatique. Hermès. Paris 2002.
- [28] Larminat. P., Duc G. " Commande des systèmes linéaires " Automatique. Hermès. Paris 2002.
- [29] Lee W.S., Anderson. B.D.O. "A new approach to adaptive robust control". *IntJ. Adapt Contr Signal Processing*, 7 : 183-211,1993
- [30] Lehtomaki. N.A.. "Robustness results in Linear Quadratic Gaussian based multivariable control designs". *IEEE Trans Automat Contr.*, 26 :75-92, 1981.

- [31] Lu. W.M., Doyle. J.C., "Robustness analysis and synthesis for uncertain nonlinear systems". In proceedings of IEEE Conf. on Decision Contr., 787-792, Lake Buena Vista. FL Dec 1994
- [32] Lyapunov. A.M. "The general problem of stability of motion". Int J Contr. 55(3) ; 531-773, March 1992 Lyapunov Centenary Issue.
- [33] Scorlotti. G., Laurant. El G. "Improved LMI conditions for gain scheduling and related control problems" Int. J. robust nonlinear control 8, 845-877 (1998)
- [34] Scorlotti. G. " Introduction à la commande multivariable des systèmes méthode de synthèse fréquentielle H_∞ " ENSI de Caen. France 2005
- [35] Scorlotti. G., Font. S., Fromion. V. " Automatique fréquentielle : des critères graphiques à l'optimisation LMI " LAP-ISMRA. LASB, INRA.
- [36] Scorlotti. G. " Intoduction à l'optimisation LMI pour l'automatique " ENSI de Caen. France 2005
- [37] Shamma. J.F., Athans. M. "Guaranteed properties of gain.scheduled control for linear parameter.varying plants". In proceedings of ACC. 516-521 1991
- [38] Stein. G ; Athans. M. "The LQG/LTR procedure for multivariable feedback Control". IEEE Trans Automat. Contr. , 32 :105-114t, 1987
- [39] Trangbæk. K. "Linear Parameter Varying Control of Induction Motors" thèse Phd.2001 Vidyasagar. M., "Nonlinear systems analysis". Electrical Engineering. Prentice.Hall. Englewood Cliffs. NJ.1978.
- [40] Zerar. M. M. "Contribution à la caractérisation LPV d'une classe de système non linéaire pour la synthèse de lois de poursuite robuste application à un système spatial" Thèse 07 Avril 2006 Université de bordeaux
- [41] Yong.Y.Cao, lin. Z., shamash .Y. " Set invariance analysis and gain-scheduling control for LPV systems subject to actuator saturation" Elsevier System & Control Letters 46 (2002) 137-151