

Proyecto de Tesis de Maestría (Miguel Bernal)

Título: Implementación en tiempo real de esquemas de control no cuadrático basados en optimización convexa.

Problema a resolver: El control basado en optimización convexa es aquel que sintetiza controladores por medio de la resolución en tiempo polinomial de desigualdades matriciales lineales (LMIs) [1] o problemas de suma de cuadrados (SOS) [2], previa reescritura de la planta en forma convexa lineal (Takagi-Sugeno, TS) [3] o no lineal (polinomial convexo, CP) [4]. Normalmente, las condiciones de diseño de estos esquemas de control se derivan utilizando funciones cuadráticas de Lyapunov, lo que ha producido un cuerpo importante de teoría con una gran variedad de aplicaciones [5]. Desde el punto de vista teórico, las funciones cuadráticas de Lyapunov no agotan las posibilidades de diseño toda vez que un sistema estable no necesariamente tiene una función semejante asociada [6]. Por este motivo, numerosos desarrollos teóricos basados en funciones de Lyapunov no cuadráticas fueron propuestos desde hace veinte años, por ejemplo, enfoques continuos por partes (piecewise, PWLF) [7] y dependientes de parámetros (PDLF) [8]. En los últimos años la mayoría de estos esquemas han alcanzado un grado de desarrollo que, desde el punto de vista teórico, los ha cerrado al conducir a condiciones asintóticamente suficientes y necesarias [9], [10]. Más aún, nuevos enfoques basados en estructuras convexas han aparecido en otras áreas: modos deslizantes [11], sistemas descriptores [12] y polinomios característicos generalizados [13], entre otras. No obstante, desde el punto de vista práctico, la mayoría de estos recientes desarrollos permanece sin implementar debido a las dificultades que ello ofrece, entre otras:

- 1) Disponibilidad parcial de los estados de la planta y necesidad de observadores adecuados [14].
- 2) Falta de modelo confiable y necesidad de un esquema de identificación correspondiente [15].
- 3) Complejidad de las leyes de control e introducción de simplificaciones juiciosas para su implementación [16], [17].
- 4) Carácter de desigualdades matriciales bilineales (BMIs) de algunas condiciones de diseño asociadas a esquemas no cuadráticos, especialmente aquellos basados en PWLF [18].

El presente trabajo abordará la implementación de dichos esquemas en tiempo real sobre plantas mecánicas y propondrá soluciones prácticas a las dificultades que ello previsiblemente traerá.

Productos académicos comprometidos: 1 artículo de conferencia internacional arbitrada publicado y 1 artículo de revista indizada sometido, ambos antes del 31 de agosto de 2019.

Estancia del estudiante: En institución nacional por definir (UNAM, UAEH, CINVESTAV) con duración de 1 mes.

Conferencia del estudiante: Nacionales CCE 2017-2019 ó AMCA 2017-2019.

REFERENCES

- [1] S. Boyd, L. E. Ghaoui, E. Feron, and V. Balakrishnan, *Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory*. Philadelphia, USA: SIAM: Studies In Applied Mathematics, 1994, vol. 15.
- [2] S. Prajna, A. Papachristodoulou, and F. Wu, "Nonlinear control synthesis by sum of squares optimization: A Lyapunov-based approach," in *Control Conference, 2004. 5th Asian*, vol. 1, 2004, pp. 157–165.
- [3] T. Taniguchi, K. Tanaka, and H. Wang, "Model construction, rule reduction and robust compensation for generalized form of Takagi-Sugeno fuzzy systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 9, no. 2, pp. 525–537, 2001.
- [4] A. Sala and C. Ario, "Polynomial fuzzy models for nonlinear control: a Taylor series approach," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 17, no. 6, pp. 1284–1295, 2009.
- [5] K. Tanaka and H. Wang, *Fuzzy Control Systems Design and Analysis. A linear matrix inequality approach*. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [6] H. Lam and F. Leung, *Stability analysis of fuzzy-model-based control systems*. Springer, 2011, vol. 264.
- [7] M. Johansson, A. Rantzer, and K. Arzen, "Piecewise quadratic stability of fuzzy systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 7, no. 6, pp. 713–722, 1999.
- [8] K. Tanaka, T. Hori, and H. Wang, "A multiple Lyapunov function approach to stabilization of fuzzy control systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 11, no. 4, pp. 582–589, 2003.
- [9] T. González, M. Bernal, A. Sala, and B. Aguiar, "Cancellation-based nonquadratic controller design for nonlinear systems via Takagi-Sugeno models," *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 47, no. 9, pp. 2628–2638, 2017.
- [10] T. González, A. Sala, M. Bernal, and R. Robles, "Piecewise-Takagi-Sugeno asymptotically exact estimation of the domain of attraction of nonlinear systems," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 354, no. 3, pp. 1514–1541, 2017.
- [11] A. Tapia, M. Bernal, and L. Fridman, "Nonlinear sliding mode control design: An LMI approach," *Systems & Control Letters*, vol. 104, pp. 38–44, 2017.
- [12] J. Arceo, D. Vázquez, V. Estrada-Manzo, R. Márquez, and M. Bernal, "Nonlinear convex control of the Furuta pendulum based on its descriptor model," in *2016 13th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*. IEEE, 2016, pp. 1–6.
- [13] M. Sanchez and M. Bernal, "A Convex Approach for Reducing Conservativeness of Kharitonov's-Based Robustness Analysis," in *Proc. of the 20th IFAC World Congress*, 2017, pp. 0–0.
- [14] Z. Lendek, T. Guerra, R. Babuska, and B. De-Schutter, *Stability Analysis and Nonlinear Observer Design Using Takagi-Sugeno Fuzzy Models*. Netherlands: Springer-Verlag, 2010.
- [15] C. Armenta, M. Bernal, F. Hernández, and R. Villafuerte, "Identification-based linear control of a twin rotor mimo system via dynamical neural networks," in *2017 14th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [16] J. Arceo, R. Márquez, V. Estrada-Manzo, and M. Bernal, "Stabilization of nonlinear singular systems via Takagi-Sugeno models and robust differentiators," *International Journal of Fuzzy Systems*, pp. 1–9, 2018.
- [17] T. Laurain, J. Lauber, and R. Palhares, "Avoiding matrix inversion in Takagi-Sugeno-based advanced controllers and observers," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 216–225, 2018.
- [18] G. Feng, C. Chen, D. Sun, and Y. Zhu, " H_∞ controller synthesis of fuzzy dynamic systems based on piecewise Lyapunov functions and bilinear matrix inequalities," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 94–103, 2005.