

Proyecto de Tesis de Maestría (Miguel Bernal)

Título: Control convexo de sistemas no lineales basado en identificación

Problema a resolver: La efectividad de las leyes de control depende críticamente de que el modelo de una planta satisfaga el compromiso entre exactitud, simplicidad y utilidad. Cuando no se dispone de modelo o bien éste no satisface alguno de los criterios anteriores, puede recurrirse a la *identificación* de la planta, es decir, la construcción de un modelo con estructura predefinida basado en el cual se diseña la ley de control. El presente trabajo considerará esquemas de identificación matemáticamente rigurosos que garanticen convergencia exponencial a cero del error de identificación, excluidos los métodos estadísticos:

- 1) Redes neuronales dinámicas [1], [2], [3] de la forma $\dot{x}(t) = Ax(t) + W^T z(\chi(t), u(t))$.
- 2) Mínimos cuadrados no lineales [4], [5] o recursivos [6], [7]

Por otra parte, la metodología de control no lineal basada en la representación exacta de sistemas no lineales en forma de modelos convexos Takagi-Sugeno (TS) [8] o polinomiales [9] ha resultado muy exitosa en las últimas décadas. Estos modelos se combinan con el método directo de Lyapunov para producir condiciones en forma de desigualdades matriciales lineales (LMIs) [10] o suma de cuadrados (SOS) [11], que pueden resolverse de forma numéricamente eficaz. La suficiencia de las condiciones de análisis y diseño se ha relajado con funciones de Lyapunov distintas de las cuadráticas [12], tales como “piecewise” [13] y difusas [14]; asimismo, leyes de control genuinamente no lineales como la compensación paralela distribuida han sido extendidas a formas más complejas [15]; finalmente, las relajaciones de suma y las matriciales han proporcionado un grado más de flexibilidad [16].

Este trabajo se propone hallar condiciones suficientes en forma de LMIs o SOS para el análisis y control de sistemas no lineales cuya estructura haya sido tomada de esquemas de identificación como los arriba descritos y reformulado parcial o totalmente en forma convexa.

Productos académicos comprometidos: 1 artículo de conferencia internacional arbitrada publicado y 1 artículo de revista indexada sometido, ambos antes del 31 de agosto de 2018.

Estancia del estudiante: En el Laboratorio LAMIH de la Universidad de Valenciennes, Francia, por el máximo permitido según sabático del asesor y normativa de Becas Mixtas CONACYT (6 meses).

Conferencia del estudiante: International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE 2016/2017) ó en su defecto el Congreso Nacional de Control Automático de la Asociación de México de Control Automático (AMCA 2016/2017).

REFERENCES

- [1] Kosmatopoulos, B. Elias, M. A. Christodoulou, and P. A. Ioannou, “Dynamical neural networks that ensure exponential identification error convergence,” *Neural Networks*, vol. 10, no. 2, pp. 299–314, 1997.
- [2] K. Li, J. Peng, and E. Bai, “Two-stage mixed discrete–continuous identification of radial basis function (rbf) neural models for nonlinear systems,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 56, no. 3, pp. 630–643, 2009.
- [3] X. M. Ren, A. B. Rad, P. T. Chan, and W. L. Lo, “Identification and control of continuous-time nonlinear systems via dynamic neural networks,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 50, no. 3, pp. 478–486, 2003.
- [4] C. Li and M. Chen, “Simultaneous identification and stabilization of nonlinearly parameterized discrete-time systems by nonlinear least squares algorithm,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 61, no. 7, pp. 1810–1823, 2016.
- [5] C. Keliris, M. M. Polycarpou, and T. Parisini, “An integrated learning and filtering approach for fault diagnosis of a class of nonlinear dynamical systems,” *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, vol. 28, no. 4, pp. 988–1004, 2017.
- [6] W. Zhao, W. X. Zheng, and E. Bai, “A recursive local linear estimator for identification of nonlinear arx systems: asymptotical convergence and applications,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 58, no. 12, pp. 3054–3069, 2013.
- [7] D. Wang, D. Liu, Q. Zhang, and D. Zhao, “Data-based adaptive critic designs for nonlinear robust optimal control with uncertain dynamics,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 46, no. 11, pp. 1544–1555, 2016.
- [8] K. Tanaka and H. Wang, *Fuzzy Control Systems Design and Analysis. A linear matrix inequality approach*. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [9] 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.
- [10] S. Boyd, L. E. Ghaoui, E. Feron, and V. Belakrishnan, *Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory*. Philadelphia, USA: SIAM: Studies In Applied Mathematics, 1994, vol. 15.
- [11] K. Tanaka, T. Komatsu, H. Ohtake, and H. Wang, “Micro helicopter control: LMI approach vs sos approach,” in *IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2008. FUZZ-IEEE 2008. (IEEE World Congress on Computational Intelligence)*, 2008, pp. 347–353.
- [12] H. Wang, K. Tanaka, and M. Griffin, “An approach to fuzzy control of nonlinear systems: Stability and design issues,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 14–23, 1996.
- [13] 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.
- [14] M. Bernal and T. M. Guerra, “Generalized non-quadratic stability of continuous-time Takagi-Sugeno models,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 18, no. 4, pp. 815–822, 2010.
- [15] 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*, 2016, (In Press).
- [16] T. M. Guerra, V. Estrada-Manzo, and Zs. Lendek, “Observer design of nonlinear descriptor systems: an LMI approach,” *Automatica*, vol. 52, pp. 154–159, 2015.