Proyecto de Tesis de Maestría (Raymundo Márquez)

Título: Diseño de controladores para sistemas no lineales modelados en forma convexa con retardo de tiempo en la entrada.

Problema a resolver: Los sistemas con retardo de tiempo han sido estudiados exhaustivamente en los últimos años, se encuentran presentes tanto en sistemas de control como en tecnologías de comunicación e información. Los retardos pueden presentarse en la entrada de control, en la salida del sistema e incluso en los estados [1]. Además, es bien sabido que los retardos de tiempo pueden dar lugar a oscilaciones o incluso a la inestabilidad del sistema en lazo cerrado [2], motivo por el cual el análisis de estabilidad y estabilización en sistemas de control ha tomado gran relevancia en los últimos años. De manera general, en la literatura es posible encontrar trabajos sobre la estabilidad y estabilización de sistemas no lineales con retardo constante así como con retardo variable en la entrada. El análisis de estabilidad en el dominio del tiempo existen trabajos basados en la funcional de Lyapunov-Krasovskii [3] mientras que otros se basan en la función de Lyapunov-Razumikhin [4]. Existen algunos resultados en el análisis de sistemas no lineales con retardo de entrada. En [1], se analiza la estabilización robusta de un sistema con retardo de entrada e incertidumbres paramétricas. Recientemente el análisis de estabilidad de las personas con lesión torácica de la médula espinal (SCI por sus siglas en inglés) ha adquirido relevancia. En [5], se presenta un modelo simple para estudiar esta condición. El modelo se obtiene a través de técnicas Lagrangianas, que conducen en una forma de descriptor no lineal, este modelo tiene, además, un retardo en la entrada de control. Este retardo representa el tiempo para detectar una perturbación y responder con la activación muscular para estabilizar el sistema. Estos trabajos representan su dinámica no lineal a través de modelos Takagi-Sugeno (TS) [6] la cual es ampliamente empleada en el análisis de estabilidad y la estabilización de esta clase de sistemas. Dichos modelos se obtienen a partir del enfoque de sector no lineal propuesto por Taniguchi en [7], no hay pérdida de información y el modelo TS es entonces un modelo exacto dentro de la región de modelado. Aprovechando la estructura convexa de los modelos TS, se ha estudiado la estabilidad y la estabilización de este tipo de sistemas a través del método directo de Lyapunov lo que comúnmente conduce a desigualdades matriciales lineales (LMI por sus siglas en inglés), que se pueden resolver de manera efectiva con el uso de métodos de programación convexa [8]. Sin embargo, los resultados obtenidos son conservativos ya que las condiciones obtenidas son solo suficientes. Este trabajo estará orientado a desarrollar condiciones suficientes en forma de LMI que reduzcan la conservatividad de las soluciones en el diseño de controladores para sistemas no lineales representados por modelos convexos TS que contengan retardos de tiempo en la entrada. Los desarrollos se basarán en la combinación de una funcional Lyapunov-Krasovskii con distintas desigualdades integrales, como la de Jensen o Wirtinger [9], [10].

Productos académicos comprometidos: 1 artículo de conferencia arbitrada publicado antes del 31 de agosto de 2020.

Estancia del estudiante: 1 mes en 2020 en la Univ. Autónoma del Edo. de Hidalgo (UAEH), con el Dr. Raúl Villafuerte (SNI I).

Conferencia del estudiante: Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE 2019/2020) o Congreso Nacional de Control Automático de la Asociación de México de Control Automático (CNCA 2019/2020).

REFERENCIAS

- [1] D. Yue, "Robust stabilization of uncertain systems with unknown input delay," *Automatica*, vol. 40, no. 2, pp. 331–336, 2004.
- [2] S.-I. Niculescu, E. I. Verriest, L. Dugard, and J.-M. Dion, "Stability and robust stability of time-delay systems: A guided tour," in *Stability and control of time-delay systems*. Springer, 1998, pp. 1–71.
- [3] N. Krasovskii, "On the application of the second method of Lyapunov for equations with time delays," *Prikl. Mat. Mekh.*, vol. 20, no. 3, pp. 315–327, 1956.
- [4] B. Razumikhin, "On the stability of systems with a delay," *Prikl. Mat. Meh.*, vol. 20, no. 1, pp. 500–512, 1956.
- [5] M. Blandeau, V. Estrada-Manzo, T. Guerra, P. Pudlo, and F. Gabrielli, "Unknown input observer for understanding sitting control of persons with spine cord injury," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 5, pp. 175–181, 2016.
- [6] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 15, no. 1, pp. 116–132, 1985.
- [7] T. Taniguchi, K. Tanaka, and H. O. Wang, "Model construction, rule reduction and robust compensation for generalized form of Takagi-Sugeno fuzzy systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 9, no. 4, pp. 525–538, 2001.
- [8] 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.
- [9] K. Gu, J. Chen, and V. L. Kharitonov, *Stability of time-delay systems*. Springer, 2003.
- [10] A. Seuret and F. Gouaisbaut, "Wirtinger-based integral inequality: Application to time-delay systems," *Automatica*, vol. 49, no. 9, pp. 2860–2866, 2013.