



"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Propuestas de temas de doctorado

Enviar copia al Dr. Héctor Guerra Crespo, para que tome nota en las reuniones: hgcrespo@hotmail.com

Título: Control basado en pasividad robusto para sistemas sub-actuados con matriz de inercia dependiente de la coordenada no actuada. Caso de estudio: Un UAV.

Descripción: (estado del arte, incluir al menos 2 referencias del proponente):

El enfoque IDA-PBC se aplica a sistemas sub-actuados, ya que logra la estabilización para este tipo de sistemas por medio del moldeo de la función de la energía, además, presenta cierta robustez. En particular, la metodología IDA-PBC es excelente para estabilizar sistemas en el formalismo Hamiltoniano.

Según la literatura, la metodología IDA-PBC presenta cierta robustez con respecto a incertidumbre paramétrica [1] y dinámica no modelada, como fricción [2], en el sentido que la estabilidad se preserva (con respecto a un cambio en el punto de equilibrio deseado). A pesar de esto, se ha investigado muy poco acerca de la robustez y con ello de la estabilidad asintótica cuando existen perturbaciones externas (sobre todo para el caso de sistemas sub-actuados), debidas a mediciones o ruido en el sistema.

En múltiples aplicaciones industriales, la acción integral se utiliza en los controladores para contrarrestar los efectos del ruido de medición, perturbación en las entradas, y otros fenómenos ignorados por las suposiciones de modelado, que disminuyen el rendimiento del sistema de control [3]. En el enfoque IDA-PBC se ha observado, que si se añade la acción integral en la salida pasiva, se preserva la estabilidad y la estrategia IDA-PBC presenta cierta robustez ante perturbaciones externas. Esta característica es esencial en todas las aplicaciones en las que la presencia de ruido y los errores de modelado inducen los errores de estado estacionario.

Lo anterior es realmente una solución para el caso de sistemas completamente actuados. Debido a que se ha logrado aplicar la extensión integral al IDA-PBC únicamente para sistemas Hamiltonianos completamente actuados, teniendo resultados muy favorables desde el punto de vista de la robustez. Las últimas investigaciones del enfoque PBC presentan ciertas modificaciones de la metodología IDA-PBC para que pueda ser robusta, y con ello obtener un controlador que tenga buen





"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

funcionamiento ante perturbaciones externas. Un estado del arte sobre este tema se presenta a continuación:

En [4], se propone ampliar por primera vez el enfoque de la Acción Integral (IA) a las salidas no pasivas. En este método, se utiliza una transformación canónica generalizada, lo que permite extender el estado con los integradores de las salidas de interés y, al mismo tiempo, la obtención de una función Hamiltoniana definida positiva. Este enfoque requiere la solución de un conjunto de PDEs.

En [5], se propone un método para agregar la IA a través de un lazo cerrado extendido resultante del estado del Hamiltoniano Disipativo Controlado por Puertos (PCHD) original, preservando la estabilidad y el rechazo de perturbaciones "matched", siendo los estados agregados los integradores de las salidas pasivas. Cabe mencionar que esta técnica solamente permite la IA en las salidas pasivas. Por lo que la desventaja principal para este método surge cuando la señal a ser controlada no es la salida pasiva y las perturbaciones son de tipo "unmatched". Algunos ejemplos simples son los sistemas mecánicos y motores eléctricos, donde las salidas pasivas son las velocidades y las corrientes respectivamente, pero la salida de interés es la posición. Esto implica que el método sea inadecuado para resolver esta situación.

En [6], se presenta una nueva estrategia para el diseño de controladores robustos que utilizan el método IDA-PBC. La robustez se logra eliminando la dependencia del parámetro desconocido de la ley de control. Una característica interesante es que la dinámica deseada se obtiene fijando una parte de la función hamiltoniana y resolviendo una PDE simple. Se propone una modificación del método de IDA-PBC en presencia de incertidumbre paramétrica, que hace que el controlador sea robusto con respecto a parámetros inciertos, que aparecen en los componentes del vector de campo correspondientes a las salidas de grado relativo de orden superior.

En [7], se presenta una técnica acerca del control de las salidas no pasivas vía la acción integral. Este método permite preservar la estructura del PCH y, por lo tanto, la estabilidad del lazo cerrado. Además, este enfoque se dota de la propiedad de robustez en presencia de perturbaciones "unmatched". Por lo tanto, el método de IDA-PBC con IA es capaz de rechazar perturbaciones constantes desconocidas. Se incluye a los controladores basados en IDA-ES clásicos, donde las IAs se basan en las salidas con grado relativo mayor que uno (HRD). Se utiliza un cambio de variables, obtenido a partir de un conjunto de ecuaciones algebraicas, para describir el estado extendido de la dinámica del lazo cerrado, que conserva la forma de ambas matrices, la de interconexión y la de amortiguamiento, ambas asignadas por el método de IDA, y la función Hamiltoniana deseada por el método de ES.





"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano
Zapata"

En [8], se propone un procedimiento para diseñar controles integrales para regular las salidas no pasivas, que son robustas a las perturbaciones "unmatched". Se restringe a los modelos hamiltonianos controlados por puertos completamente actuados. El objetivo de la IC (Control Integral) adicional es asegurar que la regulación de la salida es robusta frente a perturbaciones externas. El diseño del controlador se formula como un problema de equivalencia de retroalimentación, donde se busca un controlador de retroalimentación dinámica y un cambio de coordenadas tal que el sistema en lazo cerrado transformado tome la forma del PCH deseado. Para evitar la necesidad de resolver PDEs, las matrices de interconexión y de amortiguación del sistema deseado, así como su función de la energía, se mantienen iguales a las del sistema original y solo se añade a la misma una acción integral en la salida no pasiva. En este trabajo se toma en cuenta explícitamente la presencia de las perturbaciones, lo que complica significativamente la tarea.

En [9], se presenta el diseño de un control que mejora la robustez de los controladores con moldeo de la energía para sistemas mecánicos actuados con perturbaciones externas. La robustez se logra con una realimentación de estado dinámica que añade las acciones integrales, así como las fuerzas giroscópicas y de amortiguamiento. Cabe destacar que el controlador no lleva a cabo la cancelación de las no linealidades, en cambio, inyectan las fuerzas requeridas para lograr el objetivo de la robustificación.

En [10], se propone un método para el diseño de un controlador con acción integral para un sistema robótico sub-actuado, modelado como un PHS. Se usa una transformación de coordenadas y una extensión dinámica, las cuales añaden grados de libertad extras que facilitan la solución de la ecuación "matching" asociada con la estrategia IDA-PBC. Entonces, se propone un sistema en lazo cerrado que preserva la estructura de un PHS. Sin embargo, la desventaja de este trabajo es que la metodología propuesta se diseña para el caso particular del sistema robótico, lo cual no permite aplicar la metodología a una clase general de sistemas sub-actuados.

En [11], se desarrolla un método para simplificar las PDEs asociadas a la energía potencial. La simplificación se obtiene a través de una parametrización particular de la matriz de inercia en lazo cerrado. Este enfoque evita la cancelación de las no linealidades, y extiende la aplicación de este método a una gran clase de sistemas, incluyendo los sistemas PCHs separables y no separables.

En [12 y 13] se presenta la estrategia de control basado en pasividad por interconexión y asignación de amortiguamiento (IDA-PBC) aplicada a un UAV que transporta una carga. Estos algoritmos tienen un buen comportamiento en condiciones idóneas. Sin embargo, los controladores no son robustos ante perturbaciones externas. En [14] se desarrollan algoritmos de control basados en energía para un vehículo aéreo no tripulado.





"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano
Zapata"

Objetivo:

General:

Diseñar un esquema IDA-PBC robusto ante perturbaciones externas para un sistema sub-actuado con matriz de inercia dependiente de las coordenadas no actuadas.

Específicos:

1. Estudio del estado del arte.
2. Diseñar un modelado matemático bajo las formulaciones Euler-Lagrange y Hamiltoniana de un UAV.
3. Desarrollar y aplicar un control basado en pasividad por asignación de interconexión y de amortiguamiento.
4. Probar la robustez del esquema IDA-PBC clásico ante perturbaciones externas.
5. Diseñar un esquema IDA-PBC robusto ante perturbaciones externas para los sistemas sub-actuados con matriz de inercia dependiente de las coordenadas no actuadas.
6. Probar la robustez del esquema anterior.

Metas (número papers, congresos, patentes...):

- 1 Artículo de congreso.
- 1 Artículo en revista de divulgación.
- 2 Artículos de revista en el JCR.

Referencias:

- [1] Gómez F. y A. Van der Schaft (2004). "Physical Damping in IDA-PBC Controlled Underactuated Mechanical Systems". *European Journal of Control*, 10:4, pp. 451-468, 2004.
- [2] Ortega R., M. Spong, F. Gomez y G. Blankenstein. (2002). "Stabilization of underactuated mechanical systems via interconnection and damping assignment". *IEEE Trans. Automatic Control (TAC)*, 47:8, pp. 1218-1233, 2002.
- [3] Khalil H. (1996). "Nonlinear systems (2da ed.)". Prentice-Hall.
- [4] Fujimoto, K., K. Sakurama y T. Sugie (2003). "Trajectory tracking control of portcontrolled Hamiltonian systems via generalized canonical transformations". *Automatica*, 39:12, pp. 2059-2069.
- [5] Ortega R. y E. Garcia-Canseco (2004). "Interconnection and damping assignment passivity based control: A survey". *IEEE European Journal of Control*, 10:5, pp. 432-450.
- [6] Batlle C., A. Doria-Cerezo y E. Fossas (2006). "Robust Hamiltonian passive control for higher relative degree outputs". *45th IEEE Conference on Decision and Control*, Universidad Politécnica de Catalunya.





"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano
Zapata"

- [7] Donaire A. y S. Junco (2009). "On the addition of integral action to port-controlled Hamiltonian systems". *Automatica*, 45:8, pp. 1910-1916.
- [8] Ortega R. y J.G. Romero (2012). "Robust integral control of port-Hamiltonian systems: the case of non-passive outputs with unmatched disturbances". *Systems and Control Letters*, 61, pp. 11-17.
- [9] Romero J., A. Donaire y R. Ortega (2013). "Robust energy shaping control of mechanical systems". *Systems and Control Letters*, 62, pp. 770-780.
- [10] Teo Y.R., A. Donaire y T. Perez (2013). "Regulation and Integral Control of an Underactuated Robotic System Using IDA-PBC with Dynamic Extension". *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, Wollongong, Australia, pp. 920-925.
- [11] Ryalat M. y D.S. Laila (2016). "A simplified IDA-PBC design for underactuated mechanical systems with applications". *European Journal of Control*, 17, pp. 1-16, 2016.
- [12] Guerrero M.E., D.A. Mercado, R. Lozano y C.D. García (2015). "Passivity Based Control for a Quadrotor UAV Transporting a Cable-Suspended Payload with Minimum Swing". *Conference on Decision and Control (CDC)*, Osaka, Japan, pp. 6718-6723, 2015.
- [13] Guerrero M.E., D.A. Mercado, R. Lozano y C.D. García (2017). "Swing-attenuation for a quadrotor transporting a cable-suspended payload". *ISA Transactions*, 68, pp. 433-449, 2017.
- [14] Guerrero, M-E., H. Abaunza, P. Castillo, R. Lozano and C.D. García, (2017), "Quadrotor Energy-Based Control Laws: A Unit-Quaternion Approach", *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 88, pp. 347-377.

Vinculación:

El tema de tesis está planteado para aprovechar la experiencia de investigadores que han trabajado en los temas en los que se basa la propuesta, principalmente con:

Dr. Rogelio Lozano Leal, SNI nivel 3, director del laboratorio UMI-LAFMIA de CINVETAV donde forma parte del núcleo académico básico de la Maestría y el Doctorado en Sistemas Autónomos de Navegación Aérea y Submarina. El Dr. Lozano es experto en control no lineal y vehículos aéreos y cuenta con diversos artículos en el área de control pasivo y control de UAVs.

Dr. Diego Alberto Mercado Ravell, SNI Nivel Candidato, Catedrático CONACYT del CIMAT Zacatecas donde forma parte del departamento de Ingeniería de Software. Su investigación se centra en la línea de robótica, control automático y vehículos autónomos.





"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano
Zapata"

Financiamiento:

Actualmente, en el Instituto Tecnológico de Hermosillo, se cuenta con algunos vehículos aéreos no tripulados y con sus componentes por separado. Se tiene una propuesta en la convocatoria de Infraestructura de CONACYT para adquirir entre otros, un sistema de captura de movimiento.

Línea de Investigación:

Instrumentación y control en energías	
Sistemas mecatrónicos	X
Sistemas inteligentes en agroindustrias	

