

Proyecto de tesis de maestría

Título: Control de una clase de sistemas mecánicos subactuados utilizando geometría y pasividad

Problema a resolver: Los sistemas mecánicos simples son aquellos cuyo Lagrangiano se define como $\mathcal{L}(q, \dot{q}) = \mathcal{K}(q, \dot{q}) - \mathcal{V}(q)$, donde $q \in \mathcal{Q}$ es el vector de configuración que pertenece a un espacio \mathcal{Q} de dimensión n , $\mathcal{K}(q, \dot{q})$ es la energía cinética y $\mathcal{V}(q)$ es la energía potencial. La dinámica del mecanismo queda descrita por la ecuación Euler-Lagrange [1]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}(q, \dot{q})}{\partial q} = B\tau,$$

donde $\tau \in \mathbb{R}^m$ es el vector de fuerzas externas aplicadas al sistema y B es la matriz de entrada definida como $B = [\mathbf{I}_m \quad \mathbf{O}_{m \times (n-m)}]^T$. Se dice que el sistema mecánico es *subactuado* si $m = \text{rango}(B) < n$ [2]. Es decir, son aquellos que tienen menos actuadores que grados de libertad en la configuración global del dispositivo.

Los sistemas mecánicos subactuados aparecen en varias aplicaciones robóticas que involucran manipuladores y mecanismos paralelos, robots bípedos, vehículos aéreos, barcos, submarinos, plataformas móviles, etc. El análisis y control de estos sistemas en general es complicado debido a la evidente reducción del espacio de control y la aparición de restricciones noholónomas [3]. La estabilización de estos sistemas a un punto de equilibrio (inestable) se ha realizado siguiendo estrategias de balanceo usando alta ganancia, inyección de amortiguamiento y moldeo de energía vía Lagrangianos controlados [4], [5] y [6]. El seguimiento de trayectorias también se ha abordado en algunos trabajos para sistemas específicos o condiciones muy particulares [7], [8]. Los métodos de control que involucran Lagrangianos controlados y el método directo de Lyapunov [7] generan las llamadas ‘condiciones de acoplamiento’, que requieren la solución de ecuaciones diferenciales parciales. Recientemente, se ha propuesto en [9] una metodología de diseño que no requiere la solución de ‘las ecuaciones de acoplamiento’. Esto se logra usando la geometría intrínseca de los mecanismos y realizando una descomposición del espacio tangente [3] en una componente vertical y una horizontal, en donde actúan el control y se proyectan las variables no actuadas, respectivamente. Sin embargo, la aplicación de este método está limitada a sistemas mecánicos subactuados con submatriz de inercia actuada constante y variable cíclica actuada, lo que únicamente permite considerar mecanismos planos.

En este trabajo se propone estudiar el problema de control de sistemas mecánicos subactuados considerando la geometría del mecanismo y la división del espacio tangente. Mediante linealización parcial por retroalimentación colocada o no colocada, se obtendrán subsistemas que describan la dinámica de la parte actuada y la subactuada, acopladas según la condición de Spong [4], que no involucra solución de ecuaciones diferenciales parciales. A partir de esta representación se utilizarán herramientas de pasividad [10] para moldear el flujo de energía en el sistema y lograr el objetivo de control. El estudio permitirá además determinar la clase de sistemas mecánicos subactuados para los cuales el esquema de control propuesto será válido. El trabajo involucra la realización de experimentos en tiempo real.

Productos académicos: 1 artículo de congreso nacional/internacional publicado antes del 31 de Agosto de 2017.

Conferencia propuesta: Congreso Nacional de Control Automático o International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control.

Estancia propuesta: De uno a dos meses en 2017 en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, o en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, en la Ciudad de México.

Referencias

- [1] H. Goldstein, C.P. Poole, J.L. Sfko. *Classical Mechanics*. Pearson Education, 2014.
- [2] R. Olfati-Saber. *Nonlinear control of underactuated mechanical systems with application to robotics and aerospace vehicles*. PhD dissertation, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2001.
- [3] A.M. Bloch. *Nonholonomic mechanics and control*, 2nd edition. Springer, 2015.
- [4] M.W. Spong. Underactuated mechanical systems. In: *Control problems in robotics and automation*. B. Siciliano, and K.P. Valavanis (Eds.). Lecture Notes in Control and Information Sciences, vol. 230, pp. 135-150. Springer-Verlag, 2002.
- [5] I. Fantoni, R. Lozano. *Non-linear control for underactuated mechanical systems*. Springer, 2002.
- [6] Y. Liu, H. Yu. A survey of underactuated mechanical systems. *IET Control Theory and Applications*, 7(7): 921-935, 2013.
- [7] W.N. White, J. Patenaude, M. Foss, D. Garcia. Direct Lyapunov approach for tracking control of underactuated mechanical systems. *Proc. of the American Control Conference*, St. Louis MO, USA, 2009.
- [8] O. Peñaloza-Mejía, J. Alvarez, L.A. Márquez-Martínez. Discontinuous control design for tracking feasible trajectories in underactuated manipulators. *Cybernetics and Physics Journal*, 2(3): 143-150, 2013.
- [9] A. Donaire, R. Mehra, R. Ortega, S. Satpute, J.G. Romero, F. Kazi, N.M. Singh. Shaping the energy of mechanical systems without solving partial differential equations. *IEEE Trans. on Automatic Control*, 61(4): 1051-1056, 2016.
- [10] B. Brogliato, R. Lozano, B. Maschke, O. Egheland. *Dissipative systems analysis and control: theory and applications*. Springer, 2006.