

SISTEMAS MECÁNICOS SUBACTUADOS PENDULARES

C. A. Merlo-Zapata¹, M. Antonio-Cruz¹, R. Silva-Ortigoza¹, C. Y. Sosa-Cervantes¹ y M. Marciano-Melchor¹

¹Instituto Politécnico Nacional, CIDETEC. Área de Mecatrónica.
Unidad Profesional Adolfo López Mateos. C.P. 07700, México, D. F.

Resumen

En las últimas décadas, los investigadores en el área de control automático han desarrollado un interés particular en los sistemas mecánicos subactuados, es por eso que, en el presente trabajo se da a conocer la descripción de algunos sistemas de tal tipo, así como algunas de sus aplicaciones.

Introducción

Un sistema mecánico es un conjunto de elementos que tienen como propósito principal transmitir movimiento. Con el fin de que sean lo suficientemente resistentes para evitar la deflexión y el punto de ruptura al ser sometidos a grandes esfuerzos, generalmente, son construidos de materiales rígidos, tales como metales y plásticos industriales. Además, los sistemas mecánicos suelen ser actuados por motores, entre los que destacan los motores de combustión interna, de corriente directa, de corriente alterna, paso a paso, servomotores, entre otros. Estos actuadores son los responsables de imprimir movimiento a los elementos que componen los sistemas mecánicos. Los movimientos que se pueden ejecutar son de traslación, de rotación o ambos. Siendo los de traslación, aquellos en los que el movimiento se lleva a cabo a través de una línea recta, mientras que los de rotación son aquellos en los que el cuerpo gira alrededor de un eje. Las variables que se utilizan para describir tales movimientos son el desplazamiento, la velocidad y la aceleración.

Sistemas subactuados

Los sistemas subactuados son aquellos que en su estructura tienen más grados de libertad que actuadores, en donde generalmente se controla el o los grados de libertad con ausencia de actuador con un actuador perteneciente a otra articulación. Algunos ejemplos de sistemas subactuados son los robots móviles no holonómicos, robots bípedos, vehículos submarinos, manipuladores con estructura flexible, misiles, satélites, cohetes espaciales, entre otros. Sin embargo, los sistemas subactuados más populares son los de tipo pendular, entre ellos se encuentra: el péndulo invertido simple, el péndulo de Furuta, el péndulo con rueda inercial y el acrobot.

El péndulo invertido simple, o péndulo de carro, consta principalmente de un pivote sujetado a un elemento mecánico que se desplaza en una trayectoria recta limitada. Este sistema ha sido usado en laboratorios de control desde 1950, originalmente como una herramienta para ilustrar ideas en control lineal así como la estabilización de sistemas inestables [1]. El péndulo invertido simple (véase Figura 1) es más que una herramienta de laboratorio, de hecho muchos proyectos de ingeniería pueden ser modelados como sistemas pendulares, un ejemplo de ello es el control activo de un cohete para mantener una altitud apropiada.

El péndulo de Furuta (véase Figura 2), también conocido como péndulo rotatorio, consta de un pivote que, a diferencia del péndulo simple, está sujeto a una barra horizontal que gira libremente alrededor de un eje vertical. Este sistema debe su nombre a K. Furuta, quien lo introdujo por primera vez en 1992.

Por otra parte, en 1999 Mark W. Spong introduce el péndulo con rueda inercial (véase Figura 3) como un novedoso sistema mecánico, el cual es una de las variantes del péndulo invertido simple. La diferencia es que el péndulo con rueda inercial no cuenta con un movimiento traslacional, por ello con ayuda de un disco simétrico que gira libremente en un eje fijo a un extremo del pivote, es que consigue oscilar hasta llegar a la posición inestable invertida. Este movimiento rotacional ocurre debido a la energía cinética almacenada por la aceleración angular producida en el disco giratorio [2].

Finalmente, el acrobot (véase Figura 4) consta de un pivote sujeto a un eje horizontal fijo desde su extremo superior, mientras que en el extremo inferior cuenta con un motor, en el cual en su rotor se encuentra sujeto otro pivote. Al igual que los demás sistemas pendulares, en la mayoría de los casos se pretende que ambos pivotes alcancen la posición invertida.



Figura 1. Péndulo invertido simple
(Fuente [3])

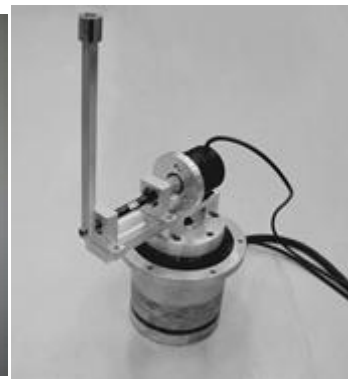


Figura 2. Péndulo de Furuta
(Fuente [4])

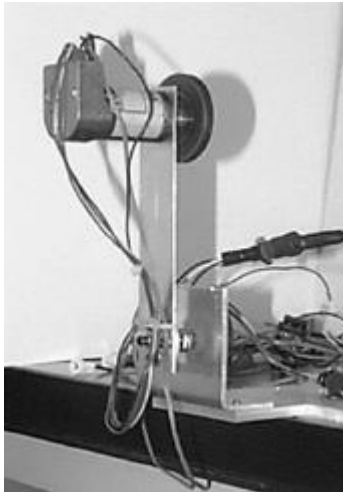


Figura 3. Péndulo con rueda inercial
(Fuente [5])



Figura 4. Acrobot (Fuente [6])

Aplicaciones

Los sistemas subactuados pendulares son frecuentemente usados en laboratorios de centros de investigación para el estudio de técnicas de control; así mismo como en centros educativos para la experimentación y aplicación de conceptos teóricos asociados al control automático.

Como tal, los sistemas mecánicos subactuados pendulares no tienen una aplicación funcional, pues su utilización es con el único propósito de fungir como sustitutos de algún sistema con aplicaciones bastante interesantes, esto se debe a que tienen gran similitud con otros sistemas de la vida real, entre los que destacan: los cohetes, un ejemplo, es el Cohete Saturn V (véase Figura 5), que requiere un control activo para mantenerlo en posición vertical durante su despegue; un robot bípedo (véase Figura 6) en el que se puede controlar su equilibrio para mantener la verticalidad; asimismo, bajo el mismo principio del péndulo invertido se han diseñado transportes de ruedas en un solo eje (segway) o incluso con una sola rueda, esto sin la necesidad de un esfuerzo de operador por mantener la verticalidad [7].

Además, en los últimos años, un muy popular sistema para el área de control ha sido el Quadrotor (véase Figura 7), el cual es un helicóptero que consta de cuatro motores cada uno con su respectiva hélice, cabe destacar que para su correcto funcionamiento es necesario que dos hélices giren en un sentido y la otras dos en sentido contrario.



Figura 5. Saturn V (Fuente [8])



Figura 6. Robot bípedo (Fuente [9])



Figura 7. Quadrotor (Fuente [10])

Conclusiones

Los sistemas mecánicos subactuados pendulares son de gran utilidad como sistemas de experimentación en laboratorios de Control Automático, Mecánica, Robótica, Mecatrónica, Biónica, entre otros. El principio de operación de este sistema es similar al de cualquier otro sistema subactuado donde se pretenda mantener una posición en particular. Este sistema puede ser una gran herramienta para facilitar el aprendizaje de conceptos relacionados con el control automático, estudiar técnicas de control no lineal, control robusto, análisis de fricción, optimización, etc.

Referencias

- [1] K. J. Astrom and K. Furuta, "Swinging up a pendulum by energy control," *Automatica*, vol. 36, pp. 287-295, Feb. 2000.
- [2] M. W. Spong, P. Corke, and R. Lozano, "Nonlinear control of the reaction wheel pendulum," *Automatica*, vol. 37, pp. 1845-1851, 1999.
- [3] Disponible en: http://www.srt.upb.de/fileadmin/SRT_Images/Rundgang/Pendel/seesaw_up.jpg Consultado en Diciembre de 2013.
- [4] Disponible en: http://www.emeraldinsight.com/content_images/fig/0490300504005.png Consultado en Diciembre de 2013.
- [5] Disponible en: http://www.pendcon.de/tl_files/Acrobot%20web%20site.jpg Consultado en Diciembre de 2013.
- [6] Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005109801001455> Consultado en Diciembre de 2013.
- [7] K. Ogata, "Ingeniería de Control Moderno", 5th edición, Madrid, Pearson Educación, 2010, pp. 1-3.
- [8] Disponible en: http://blog-imgs-35-origin.fc2.com/t/a/s/tasan/0apollo_02.jpg Consultado en Diciembre de 2013.

[9] Disponible en: <http://www.reocities.com/un-2000/robot1.JPG> Consultado en Diciembre de 2013.

[10] Disponible en: <http://mikesouts.com/wp-content/uploads/2013/02/Air-Hogs-Elite-Helix-X4-Radio-Control-Quadcopter.jpg> Consultado en Diciembre de 2013.