Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Eléctrica

EXPERIENCIA 2: VARIABLES DE ESTADO

EL5205 Laboratorio de Control Avanzado

Profesores	:	Manuel Duarte
	:	Marcos Orchard
	:	Doris Sáez
Auxiliar	:	David Acuña
Ayudantes	:	Leonel Gutiérrez
		Cristian Jáuregui
		Esteban Jofré

Fecha de entrega del enunciado	:	30 de Septiembre
Fecha de recepción de preinforme	:	7 de Octubre
Fecha de recepción de informe	:	21 de Octubre

I Introducción

Gran parte del desarrollo de las ciencias y la ingeniería se debe a los avances en cuanto a teoría de sistemas que provee herramientas para representar matemáticamente fenómenos del mundo físico y así poderlos estudiar, predecir e intervenir con el fin de alcanzar ciertos objetivos. Este último punto es el que motiva la teoría de control de sistemas, la cual abarca una amplia gama de problemáticas interesantes entre las que destaca el problema de control y el de estimación. En cuanto a control, se busca resolver el modo de influir en un sistema con el objeto de obtener un comportamiento deseado. Sin embargo, la solución de este problema requiere la adquisición de información suficiente del sistema en cuestión, la cual es obtenida mediante el uso de sensores.

Habitualmente no es posible medir directamente ciertas variables dinámicas de interés para el control de sistemas y por ende resulta de suma importancia el empleo de rutinas de estimación que permitan dar cuenta de dichos valores no medidos.

En la presente experiencia de laboratorio se pretende lograr controlar un sistema no lineal correspondiente a un cubo, tal como se muestra en la Figura 1. Resulta interesante este sistema desde el punto de vista de control, puesto que el desafío consiste en mantener equilibrado al cubo en una de sus aristas, siendo éste un punto de operación inestable. Aunque el cubo tiende a precipitarse y caer, éste se encuentra dotado de un péndulo interno cuya posición puede cambiarse mediante el acople de un motor eléctrico a través de una correa. Mediante un movimiento apropiado del péndulo es posible cambiar la posición del centro de masa del sistema completo y con compensar los desbalances que pueda presentar el cubo. Sin embargo, debido a que se desconoce la inclinación éste, es necesario estimar dicho valor para conseguir el objetivo de control.

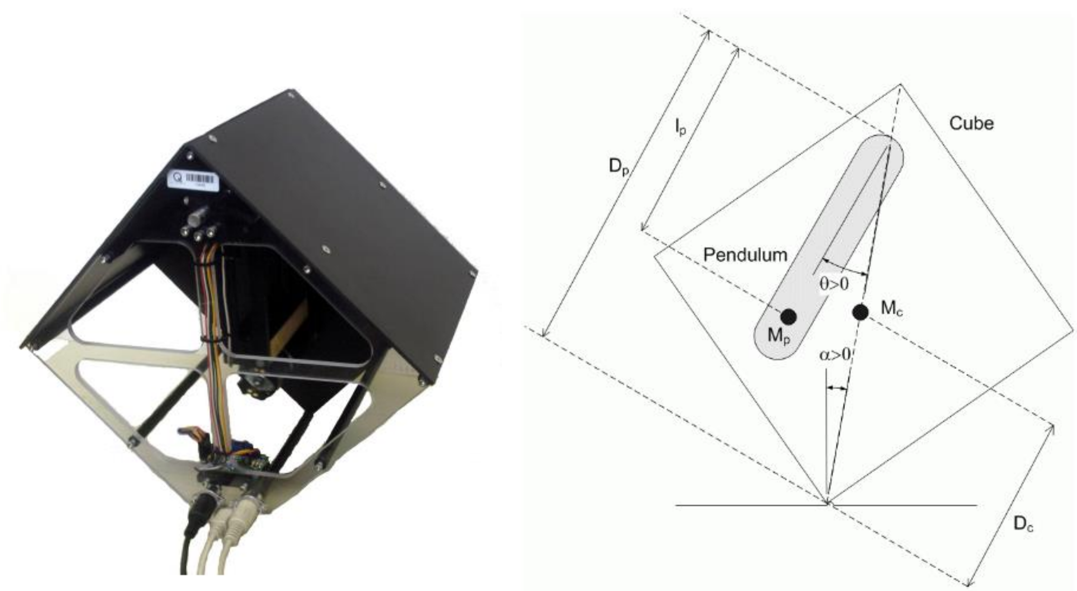

Figura 1: Cubo

Considerando la descripción del cubo expuesta en la Figura 1, el modelo del sistema es el siguiente

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = \frac{1}{(c_1 + c_2\cos^2(\theta))c_3} \cdot [(a_1 + a_2\cos(\theta))\sin(\theta)\,\dot{\alpha}^2 + a_3\sin(\theta)\,\dot{\theta}\dot{\alpha} + a_4\sin(\theta)\,\dot{\theta}^2$$
$$+ (a_5 + a_6\cos(\theta))\dot{\theta} + (a_7 + a_8\cos(\theta))u + a_9\sin(\alpha)\cos^2(\theta)$$
$$+ a_{10}\sin(\alpha) + a_{11}\cos(\theta)\cos(\alpha)\sin(\theta)]$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{(c_1 + c_2\cos^2(\theta))c_3}$$
$$\cdot \big[(b_1 + b_2\cos(\theta))\sin(\theta)\,\dot{\alpha}^2 + (b_3\cos(\theta) + b_4)\sin(\theta)\,\dot{\theta}\dot{\alpha}$$
$$+ (b_5 + b_6\cos(\theta))\sin(\theta)\,\dot{\theta}^2 + (b_7 + b_8\cos(\theta))\dot{\theta} + (b_9 + b_{10}\cos(\theta)\big)u$$
$$+ (b_{11} + b_{12}\cos(\theta))\sin(\alpha) + b_{13}\sin(\alpha)\cos^2(\theta) + b_{14}\cos(\alpha)\sin(\theta)$$
$$+ b_{15}\cos(\theta)\sin(\theta)\cos(\alpha)]$$

Considerando un tiempo de muestreo $T_s = 0.002[\mathrm{s}]$, el desarrollo de la experiencia se describe a continuación.

II Estudio fenomenológico

La primera parte de la experiencia trata el estudio fenomenológico mediante simulación, el cual senta las bases teóricas para el posterior trabajo con el sistema real.

Actividad 1:

Identifique y justifique claramente las variables relevantes del sistema. Planteelo en variables de estado. Realice simulaciones para diferentes condiciones iniciales y comente su comportamiento en lazo abierto.

Actividad 2:

Encuentre los puntos de operación del sistema y linealicelo en torno a aquel donde se desea alcanzar el equilibrio. Muestre que se trata de un punto de equilibrio inestable.

Actividad 3:

Transforme el sistema de tiempo continuo a tiempo discreto. Asumiendo que se conocen todas las variables, diseñe un controlador por realimentación de estados. Analice los resultados.

Actividad 4:

Considere ahora que sólo se miden las variables θ y $\dot{\alpha}$. Diseñe un observador de estados de Luenberger reducido y simule el sistema en lazo cerrado. Analice los resultados. ¿Qué condiciones deben cumplirse para que logren funcionar correctamente tanto el controlador como el observador?

Sugerencia: Podría controlar el sistema asumiendo que los estados se conocen en totalidad y observar el comportamiento del observador en paralelo.

III Sistema real

En esta etapa se comienza a trabajar con el sistema real. Considere que **toda programación debe ser implementada mediante bloques en simulink**.

Actividad 1:

Implemente el esquema de estimación-control desarrollado en la Actividad II.4 para la planta real. Realice pruebas y analice los resultados. De ser necesario, haga los ajustes pertinentes y explique claramente los fundamentos.

Hint: Podría ser útil rediseñar considerando extender el vector de estados con la variable $\int\theta$.

Actividad 2:

Convierta el observador de Luenberger reducido en un filtro de Kalman. Explique detalladamente los procedimientos llevados a cabo. Dado que los sensores no presentan un ruido significativo, asuma un ruido blanco gaussiano muy pequeño en relación a la escala en la cual se trabaja y analice el desempeño en cuanto a control para distintas magnitudes del ruido de proceso. Repita el procedimiento asumiendo distintas magnitudes de ruido de los sensores. ¿Existen diferencias con respecto al comportamiento del observador de Luenberger? Analice en base a los resultados.