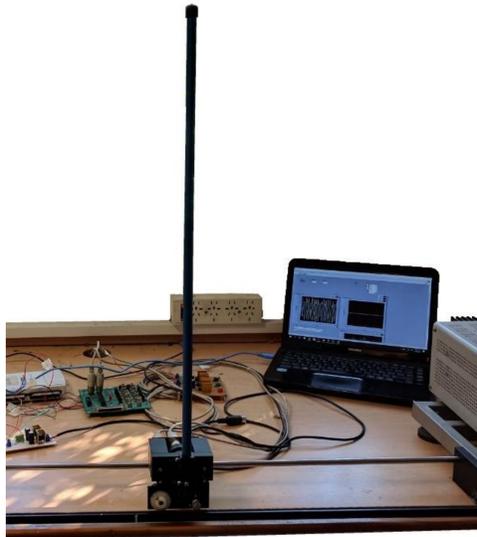


Autores: Gonzalo Castelli, Augusto Viotti Bozzini.

El proyecto consiste en equilibrar un péndulo en posición invertida sobre un carrito deslizante. El sistema puede realizar equilibrio sobre cualquier punto elegido dentro de los límites del desplazamiento del carro, y además tiene la capacidad de erguir el péndulo sin ayuda externa.



Introducción

El desarrollo surgió como trabajo práctico final de la materia Sistemas de Control, abordando el desafío de diseñar un controlador desde cero para una planta naturalmente inestable, como lo es un péndulo invertido. Controladores similares al propuesto se implementan en el sector aeroespacial, biomecánica y de transporte, como por ejemplo en Segways o cohetes.

Objetivos

El objetivo planteado fue el de modelar la planta (péndulo más el carrito) y el de diseñar un controlador por realimentación de estados observados. Se buscó implementar el diseño en LabView, aprovechando la comodidad y versatilidad de sus instrumentos virtuales.

Materiales/Métodos

El primer paso del proyecto fue el de modelar la planta. Se analizó la respuesta del motor del carrito a un escalón de tensión, se pesó el péndulo y se calculó su momento de inercia. Con esos datos, y otros proporcionados por el fabricante, se procedió a calcular el modelo en espacio de estados, tomando como estados la posición del carrito, su velocidad, el ángulo de inclinación del péndulo y la velocidad angular del mismo.

El sistema presenta dos puntos de equilibrio en donde se cumple que la velocidad del carro y la velocidad angular son cero: cuando el péndulo cuelga hacia abajo (equilibrio estable) y cuando el péndulo se encuentra en posición vertical (equilibrio inestable y que tiende al equilibrio estable ante cualquier perturbación del sistema). Dado que sólo se dispone de la medición de la posición del carro y del ángulo del péndulo, es necesario diseñar un observador que permita estimar los estados no medidos.

El sistema logra erguirse a sí mismo mediante un lazo opuesto al que hace equilibrio, impulsando el carro en direcciones opuestas cuando la velocidad angular del péndulo se hace cero. Una vez que el ángulo del péndulo se encuentra cercano a la posición vertical, se desactiva este lazo y se activa el control de equilibrio, logrando estabilizar el sistema en su posición vertical.

El sistema completo implementado, representado en bloques, se muestra en la *figura 1*.

La ubicación de polos del controlador se ubicó de tal forma que su velocidad de respuesta sea lo suficientemente rápida como para contrarrestar la caída del péndulo. Los polos del observador se colocaron aún más rápidos que el controlador, ya que el controlador necesita una estimación de los estados para calcular la acción correctiva aplicada en el carrito. El levantamiento del péndulo y la reacción del sistema frente a perturbaciones se ve en la *figura 2*.

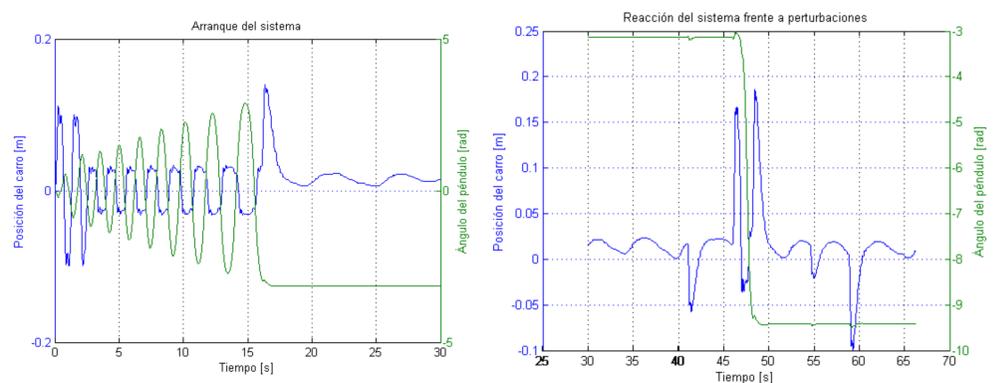


Figura 2: mediciones del sistema implementado

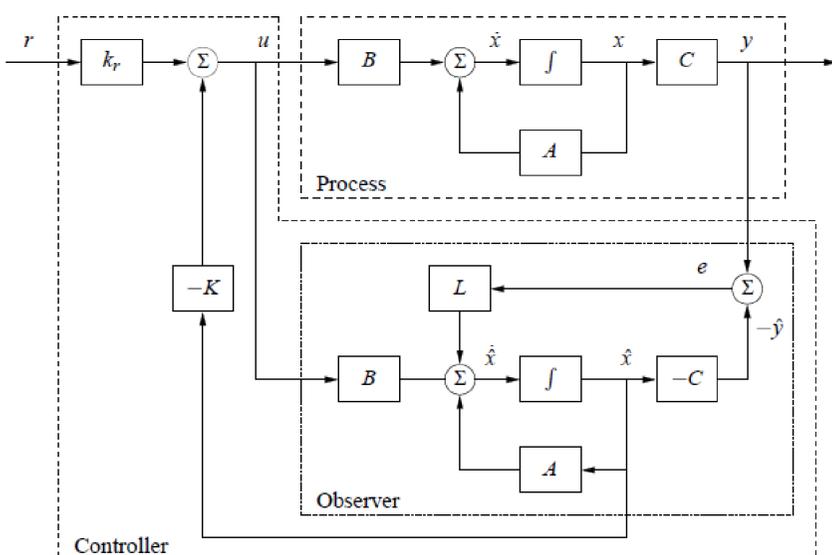


Figura 1: diagrama completo del sistema implementado [2]

Conclusiones

Se logró diseñar un controlador que establezca el péndulo en posición vertical para una posición dada del carrito, siendo el sistema capaz de erguirse a sí mismo y robusto frente a perturbaciones en el péndulo. El trabajo sirvió para entender los efectos de la posición de los polos del controlador y del observador en la performance del sistema y para valorar la importancia del salto continuo al discreto, propio de la implementación digital.

Referencias / Bibliografía

- [1] Ogata K., *Modern Control Engineering*. Delhi, Pearson, 2016.
- [2] Karl Johan Aström y Richard M. Murray, *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton University Press. 2008.

Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Ing. Alejandro Ghersin por su apoyo durante la realización del trabajo y al Ing. Pablo Cossutta por la ayuda ofrecida con la implementación del sistema en LabView.