

Diseño e implementación de un sistema de péndulo invertido 2D de bajo costo basado en visión por cámara de alta velocidad para el estudio y comparación de estrategias de control

PROBLEMA

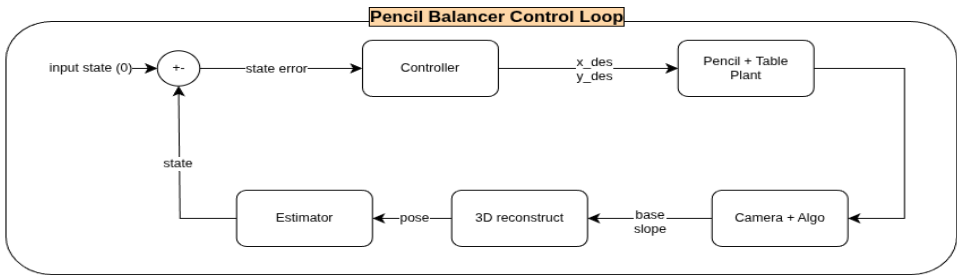
Las plataformas de péndulo invertido 2D existentes son escasas porque su costo y complejidad mecánica, electrónica y de calibración son altos, lo que limita su uso como banco de pruebas accesible. La referencia más conocida en el área (Conradt et al., 2009) usa cámaras de eventos y una base mecanizada en aluminio, con un costo de varios miles de dólares. No existe reportada una alternativa igual de funcional por debajo de los \$300.

OBJETIVO GENERAL

Implementar una plataforma experimental de bajo costo de péndulo invertido 2D, mediante visión por cámara de alta velocidad y una arquitectura de software modular para la incorporación de controladores, con el fin de validar su funcionamiento mediante la implementación experimental de un controlador de balanceo.

PROPUESTA

- Mecanismo de cinco barras impreso en 3D (reduce costo estructural y masa en movimiento).
- Percepción visual con cámara PS3 Eye a 120 Hz, segmentación de color HSV y ajuste de contornos.
- Calibración cámara-espacio de trabajo mediante interpolación bilineal, funciones de base radial y thin plate splines.
- Estimación de estado comparando diferenciación numérica con filtro pasa bajos frente a filtro de Kalman.
- Arquitectura de software modular: cada controlador (asignación de polos, LQR, Delta-LQR) se integra bajo una misma interfaz, sin modificar el resto del sistema.
- Costo total de la plataforma: menor a \$300.



Servos Control Loop

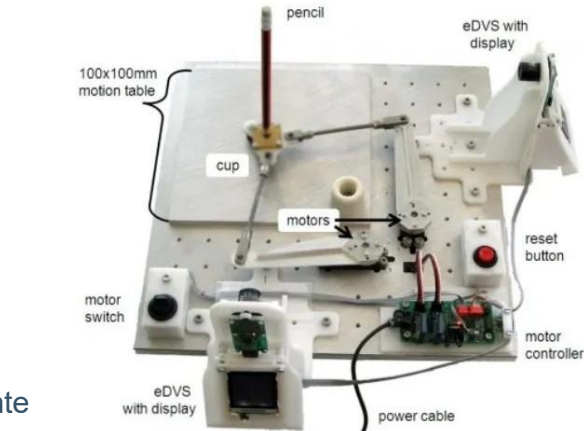
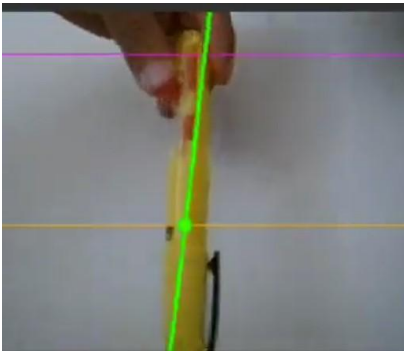
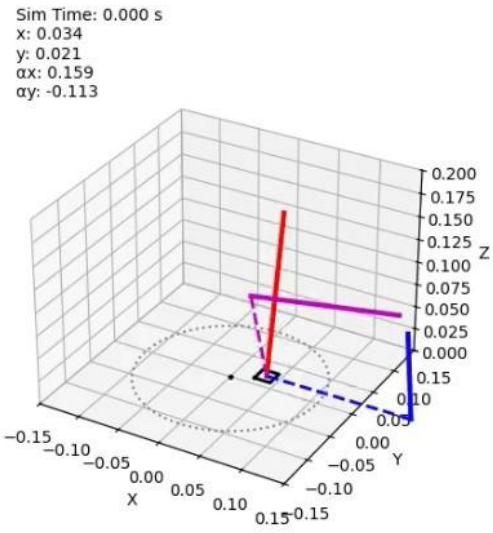


Imagen de Conradt et al. (2009)



RESULTADOS

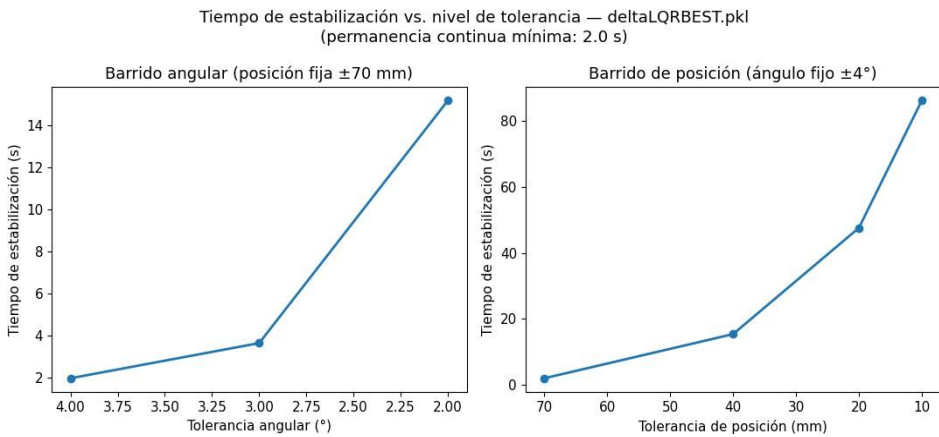
- De los tres controladores implementados, únicamente Delta-LQR logró un desempeño satisfactorio sobre el sistema físico.
- Tiempo en tolerancia: 56.2 %.
- Error RMS angular menor a 1.4° en ambos ejes.
- Error RMS de posición considerablemente mayor (5.62 mm en X, 15.25 mm en Y).
- El balanceo angular converge casi de inmediato; el centrado de posición es lo que domina el tiempo de estabilización del sistema.



CONCLUSIONES

La plataforma desarrollada demuestra que es posible balancear un péndulo invertido 2D con hardware de bajo costo, sustituyendo cámaras de eventos y bases mecanizadas por cámaras convencionales de alta velocidad y piezas impresas en 3D. La arquitectura modular permitió incorporar y comparar tres estrategias de control sin alterar el resto del sistema.

La plataforma facilita la colaboración y transferencia tecnológica al proporcionar una arquitectura experimental de bajo costo, reproducible y extensible que puede ser replicada por otros grupos de investigación para comparar estrategias de control.



BIBLIOGRAFÍA

Conradt, J., Berner, R., Cook, M., y Delbruck, T. (2009). An embedded AER dynamic vision sensor for low-latency pole balancing. En 2009 IEEE 12th international conference on computer vision workshops (ICCV workshops), 5th IEEE workshop on embedded computer vision (pp. 780–785). Kyoto, Japan.