

## Implementación de servo control visual con control bilateral aplicado en un robot colaborativo

Eloy Rodríguez Robles<sup>1\*</sup>, Manuel de Jesús Nandayapa Alfaro<sup>2</sup>

### Resumen

El presente proyecto aborda el diseño e implementación de un sistema avanzado de servo control visual basado en pose (PBVS), el cual se integra con un esquema de control bilateral para guiar de manera autónoma un robot colaborativo UR5 en tareas de manipulación precisa. Dada la necesidad de incrementar la versatilidad de las plataformas robóticas en entornos de manufactura dinámicos, la estrategia se fundamenta en dotar al robot de capacidades perceptuales robustas. La metodología PBVS se selecciona por su efectividad en entornos dinámicos, ya que genera las señales de control necesarias directamente a partir de los datos visuales capturados por una cámara, eliminando la necesidad de una reconstrucción 3D explícita de la escena. El proceso técnico incluye la calibración rigurosa de la cámara, la estimación precisa de su pose mediante el algoritmo PnP (Perspective-n-Point), y el desarrollo de algoritmos de detección de características visuales con el apoyo de librerías como OpenCV. El objetivo primordial es mantener la estabilidad operativa y la adaptabilidad minimizando los errores. Adicionalmente, el esquema de control bilateral (maestro-esclavo) se implementa para sincronizar el movimiento del robot, facilitando la interacción física controlada con una pieza. Se prevé que la arquitectura híbrida demuestre una alta precisión de posicionamiento y adaptabilidad, validando su efectividad en tareas complejas y sentando las bases para futuras integraciones con técnicas de Inteligencia Artificial para una mayor autonomía robótica.

### Palabras Clave

Servo Control Visual – Robot Colaborativo – Control Bilateral – Visión por Computadora

<sup>1,2</sup>Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.

**\*Autor de correspondencia:** al244372@alumnos.uacj.mx

#### Programa académico

Maestría en Ingeniería en Manufactura

#### Fecha de presentación

22 de mayo de 2025

#### Financiamiento

SECITHI (CVU 726171)

#### Institución responsable del estudio

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

#### Evento académico

9.º Coloquio de Posgrados del IIT

#### Conflicto de interés

Sin conflicto de interés declarado

### Referencias

1. Matsumoto, Y., Katsura, S., & Ohnishi, K. (2003). An analysis and design of bilateral control based on disturbance observer. In Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT) (Vol. 2, pp. 802–807). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2003.1290760>
2. Lynch, K. M., & Park, F. C. (2017). Modern robotics: Mechanics, planning, and control. Cambridge University Press.
3. Hartley, R., & Zisserman, A. (2000). Multiple view geometry in computer vision. Cambridge University Press.

CITACIÓN: Rodríguez Robles, E. (2025). Implementación de servo control visual con control bilateral aplicado en un robot colaborativo [edición especial]. *Memorias Científicas y Tecnológicas*, 4(1), 37-38.

## Departamento de Ingeniería Industrial y de Manufactura Maestría en Ingeniería en Manufactura

Eloy Rodríguez Robles

### Implementación de servo control visual con control bilateral aplicado en un robot colaborativo

#### Resumen

Este proyecto desarrolla un sistema de servo control visual basado en pose (PBVS) que se combina con control bilateral para permitir que un robot colaborativo UR5 opere de manera autónoma. Para esto se realiza la calibración de una cámara, se estima su pose mediante el algoritmo PnP además de ejecutar control visual. Con esto, el sistema busca minimizar los errores de reproyección, para asegurar una operación estable y adaptarse a condiciones cambiantes en el entorno.

#### Introducción

Actualmente, los robots colaborativos son una solución industrial eficiente para aplicaciones que requieren precisión y repetibilidad. Dada la variabilidad presente en cualquier proceso de Manufactura y la necesidad de proveer a estas plataformas con capacidades perceptuales que incrementen versatilidad, ha impulsado el desarrollo de soluciones que incorporan algoritmos de visión por computadora y estrategias de control acordes.

En este contexto, el servo control visual basado en pose, ha demostrado ser una metodología efectiva para controlar robots en entornos dinámicos. La característica clave de este enfoque es su capacidad para generar señales de control directamente a partir de los datos visuales capturados por cámaras, sin necesidad de reconstruir explícitamente la escena en sus tres dimensiones.

Por lo tanto, este proyecto se centra en el desarrollo y la implementación de un sistema de servo control visual con control bilateral aplicado a un robot UR5.

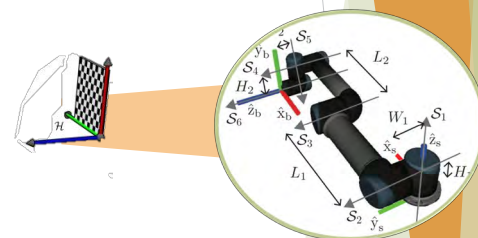
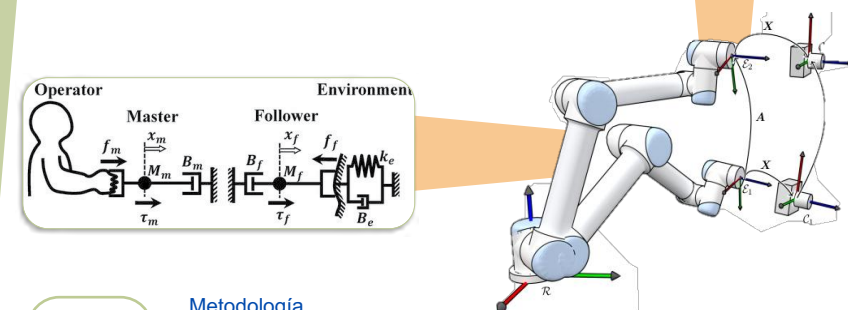
#### Objetivos

##### Objetivo general:

Diseñar e implementar un sistema de servo control visual, integrado con control bilateral, para guiar de manera autónoma un robot colaborativo UR5.

##### Objetivos específicos:

- Calibrar la cámara para obtener los parámetros intrínsecos y extrínsecos necesarios para la interpretación de la escena.
- Desarrollar algoritmos de detección y seguimiento de características visuales (p.ej., esquinas, contornos y círculos) utilizando OpenCV.
- Implementar la técnica de servo control visual para generar señales de control en tiempo real.
- Diseñar e integrar un esquema de control bilateral que permita la interacción del robot con una pieza.
- Evaluar el desempeño del sistema mediante pruebas experimentales simuladas.



#### Metodología

El proyecto se llevará a cabo siguiendo una metodología que consta de las siguientes etapas:

Calibración de la cámara para la obtención de parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara.

Procesamiento de imágenes y extracción de características. Extracción y localización de características relevantes en la imagen para definir con las referencias visuales para control.

Implementación del servo control visual (PBVS)

Cálculo del error visual a partir de las diferencias entre posiciones deseadas y reales en el plano imagen.

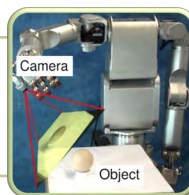
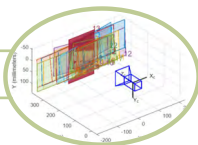
Diseño del esquema de control bilateral

Implementación de un controlador maestro-esclavo que sincroniza los movimientos del robot con los comandos del operador.

Pruebas de simulación

Ejecución de simulaciones para validar el sistema de seguimiento de objetivos.

Recolección de datos de desempeño como precisión de posicionamiento y tiempo de respuesta y estabilidad.



#### Resultados

Se espera que el sistema diseñado sea capaz de guiar al robot colaborativo de manera precisa en base a la información visual capturada en tiempo real.

Entre los resultados más relevantes se encuentran:

- Precisión visual adecuada para mantener los errores de reproyección en niveles bajos
- Estabilidad del sistema durante la operación, para asegurar un control preciso y sin oscilaciones bajo condiciones cambiantes.

#### Conclusiones

Se prevé que el desarrollo de este proyecto permita validar la efectividad del servo control visual en tareas de manipulación precisa.

Asimismo, se anticipa que la combinación de visión por computadora y control bilateral aportará ventajas significativas en la ejecución de tareas robóticas, favoreciendo:

La mejora de la precisión y adaptabilidad del robot en tareas complejas y dinámicas. La capacidad del robot para adaptarse a entornos cambiantes y realizar tareas con mayor autonomía.

La posibilidad de extender esta metodología a aplicaciones industriales que requieran manipulación precisa y flexible.

Finalmente, se considera que este proyecto sentará las bases para futuras investigaciones orientadas a incorporar inteligencia artificial o aprendizaje automático, con el fin de robustecer aún más la percepción y la autonomía en sistemas robóticos.

#### Referencias

- [1] Y. Matsumoto, S. Katsura, and K. Ohnishi, "An analysis and design of bilateral control based on disturbance observer," in IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004.
- [2] K. M. Lynch and F. C. Park, Modern robotics: Mechanics, planning, and control. Cambridge University Press, 2017.
- [3] R. Hartley and A. Zisserman, Multiple view geometry in computer vision. Cambridge University Press, 2000.

Figura 1. Cartel Académico: Implementación de servo control visual con control bilateral aplicado en un robot colaborativo.