

INTEGRACIÓN DE VISIÓN ARTIFICIAL EN ROBOT HUMANOIDE BIOLOID COMO PROYECTO INTEGRADOR EN INGENIERÍA

INTEGRATION OF ARTIFICIAL VISION IN BIOLOID HUMANOID ROBOT AS AN INTEGRATIVE ENGINEERING PROJECT

V. H. Cacique Borrego¹

K. G. Lindero Cano²

I. Paniagua Villagómez³

S. A. Barrera Miranda⁴

RESUMEN

El presente trabajo presenta la implementación de un sistema de visión basado en una cámara HaViMo 2.0 en robot Bioloid Premium Tipo A para la detección y seguimiento de patrones en un entorno. El objetivo principal fue implementar la cámara como sistema de visión, optimizando el reconocimiento y seguimiento de objetos. Para ello, se configuró el hardware del robot y se desarrollaron algoritmos específicos de procesamiento de imágenes. La metodología incluyó la calibración precisa de la cámara, se mejoró la calidad de las imágenes mediante técnicas de corrección de color, reducción de ruido y ajuste de contraste.

El controlador CM-530 sirvió como núcleo del sistema, gestionando la comunicación con la cámara y ejecutando algoritmos de procesamiento y navegación implementados mediante la librería `stm32f10x_lib.h`. Se desarrollaron algoritmos específicos para la detección de patrones de color blanco en un entorno controlado.

ABSTRACT

This paper presents the implementation of a vision system based on a HaViMo 2.0 camera on a Bioloid Premium Type A robot for pattern detection and tracking in an environment. The main objective was to implement the camera as a vision system, optimizing object recognition and tracking. To do so, the robot hardware was configured, and specific image processing algorithms were developed. The methodology included precise calibration of the camera, image quality was improved using color correction, noise reduction and contrast adjustment techniques.

The CM-530 controller served as the core of the system, managing communication with the camera and executing processing and navigation algorithms implemented using the `stm32f10x_lib.h` library. Specific algorithms were developed for the detection of white color patterns in a controlled environment.

ANTECEDENTES

La visión artificial es una herramienta clave para mejorar el desempeño de robots autónomos en tareas dinámicas, especialmente en la detección de patrones, con aplicaciones en diversos contextos. En robots humanoides de competencia, el uso de visión artificial mejoró el desempeño en actividades de detección de objetos y posicionamiento (Vázquez, 2013).

Se ha investigado como un sistema de visión artificial y un algoritmo de control permite a un robot humanoide Bioloid mejorar su autonomía y permitiéndole tomar decisiones en tiempo real durante competencias de robótica, específicamente como portero (Hernández et al., 2013). Así mismo, se han propuesto metodologías basadas en redes neuronales pulsantes para que un robot humanoide clasifique acciones y realice tareas como desplazarse, manipular

¹ Coordinador de la extensión de Apaseo el Grande. Tecnológico Nacional de México en Celaya.
victor.cacique@itcelaya.edu.mx

² Estudiante de Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México en Celaya, 19031695@itcelaya.edu.mx

³ Estudiante de Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México en Celaya, 19031871@itcelaya.edu.mx

⁴ Estudiante de Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México en Celaya, 19031371@itcelaya.edu.mx

objetos y transportarlos, guiado por comandos verbales, combinando visión artificial y control difuso para adaptarse a distintas circunstancias (Brauer, 2016).

En el ámbito cultural, se ha propuesto un robot humanoide que ejecuta la jarana Yucateca, utilizando control inalámbrico y comandos de voz, como herramienta para difundir la cultura maya y acercar tecnología a comunidades rurales maya hablantes en Yucatán (González et al., 2017).

En robots aéreos se ha implementado la visión artificial como un sistema de inspección en un cuadro Tor que utiliza técnicas de control servo-visual para la navegación autónoma, transmisión de imágenes en red y seguimiento preciso de trayectorias, facilitando la inspección remota (Silva et al., 2013).

La implementación de una visión artificial a través de la cámara HaViMo 2.0 ha permitido el desarrollo de diferentes algoritmos basados en métodos de mallado y gradiente para que un robot humanoide Bioloid Premium pueda identificar una pelota de tenis, así como posicionarse en frente de ella. (Zavala et al., 2019). De igual manera, la estimación de distancias y la localización, utilizando modelos proporcionales, vectoriales y de triangulación basados en el módulo HaViMo 2.0. dan pauta a más aplicaciones con la visión artificial (Cacique et al., 2021).

El desarrollo del presente proyecto fue llevado a cabo por tres estudiantes de la especialidad de Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México (TecNM) en Celaya, como parte de la asignatura de Sistemas Mecatrónicos, una materia correspondiente a los últimos semestres de la carrera. Esta asignatura busca la integración de conocimientos adquiridos en electrónica, control, programación y mecánica para la creación de sistemas mecatrónicos funcionales y aplicables en distintos ámbitos de la ingeniería.

Los estudiantes involucrados en este trabajo aplicaron sus habilidades en el diseño y programación de sistemas de visión artificial para mejorar el desempeño del robot Bioloid Premium Tipo A en la detección y seguimiento de patrones. El objetivo de este trabajo fue la implementación de la cámara HaViMo 2.0 para desarrollar un sistema capaz de identificar y rastrear objetos en un entorno controlado, optimizando la capacidad del robot para tomar decisiones basadas en la información visual procesada en tiempo real. Por lo que la pregunta de investigación de este trabajo es ¿Cómo contribuye el desarrollo de proyectos con visión artificial en la formación académica de estudiantes de Ingeniería Mecatrónica?

METODOLOGÍA

Con la evolución de la robótica y los avances tecnológicos, el entendimiento por la palabra “robot” ha tomado diferentes formas, para el Instituto de Robots de América (RIA, por sus siglas en inglés) lo define como un manipulador reprogramable que permite trasladar materiales, componentes, herramientas o equipos a través de movimientos programados. Por otro lado, la Comisión Europea considera que un robot es equipo que opera de manera autónoma, dotado de herramientas concretas para gestionar o automatizar, cuyas acciones son programables en cuanto a orientación, ubicación y secuencia. Ambos organismos coinciden en la capacidad de los robots para realizar tareas predefinidas y automatizadas.

La empresa surcoreana Robotis dedicada al desarrollo y fabricación de hardware y software para robots en diferentes áreas, cuenta con el kit Bioloid Premium, que se puede apreciar en la Figura 1 con un enfoque pedagógico, orientado a facilitar la enseñanza y el aprendizaje de la robótica a estudiantes y público en general (ROBOTIS, 2021).

Figura 1. *Robot Bioloid Premium.*



Fuente: Robotis.us.

Para esta investigación se utilizó el Robot Bioloid Premium, en su configuración Tipo A, siendo éste una herramienta que permite a los usuarios explorar la construcción y programación de robots de forma amigable y práctica. El robot incluye 18 servomotores AX-12^a, como el que se muestra en la Figura 2, que se caracterizados por su robustez y precisión en los movimientos del robot. Estos servomotores cuentan con una resolución de 0.35 °, con un rango de 0 a 1024 pasos (0 a 300°). La versatilidad de los AX-12A permiten modificar el torque que se les puede aplicar, además de la velocidad de movimiento. La comunicación entre los servomotores es a través de un protocolo Dynamixel 1.0, un tipo comunicación serial Half-Duplex donde no se pueden utilizar TxD y RxD al mismo tiempo. Este protocolo puede ser programado en diferentes lenguajes de programación como C++.

Figura 2. *User manual Dynamixel AX-12^a.*



Fuente: User manual Dynamixel AX-12^a.

El protocolo tiene un paquete de instrucciones cuyos datos son comandos enviados a los servomotores AX-12A o cualquier dispositivo que acepte el protocolo. Su estructura base se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Paquete de instrucción.

Cabecera 1	Cabecera 2	Identificador	Longitud	Instrucción	Parámetro 1	Parámetro N	Checksum
0xFF	0xFF	ID	LEN	INS	Param1	ParamN	Chksum

Fuente: User manual Dynamixel Protocol 1.0.

También se cuenta con un paquete de estado cuya función es la respuesta del servomotor al controlador proporcionando información solicitada o confirmar acciones, como las que se enlistan en la Tabla 2.

Tabla 2. Paquete de estado.

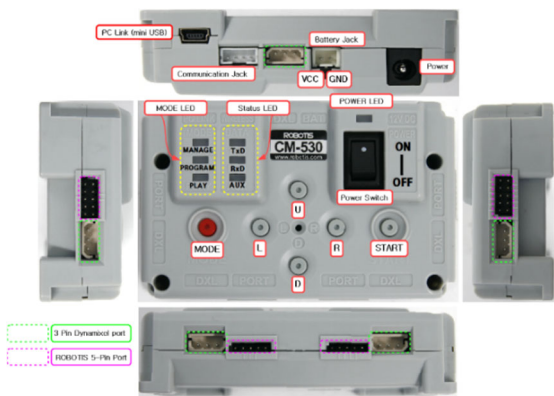
Cabecera 1	Cabecera 2	Identificador	Longitud	Error	Parámetro 1	Parámetro N	Checksum
0xFF	0xFF	ID	LEN	ERR	Param1	ParamN	Chksum

Fuente: User manual Dynamixel Protocol 1.0.

Cada actuador Dynamixel en un bus compartido debe tener un ID único para evitar colisiones de paquetes y problemas de red. El ID predeterminado de fábrica es 1, y se puede modificar según sea necesario.

El controlador del robot Bioloid Premium es el CM-530, que se muestra en la Figura 3, ésta diseñado para gestionar actuadores Dynamixel y diversos sensores. El controlador tiene la unidad central de procesamiento STM32F103RE de 32 bits, múltiples puertos para conectar sensores y módulos de expansión lo que facilita la integración de componentes adicionales. También cuenta con botones y LEDs que permiten una interacción directa y sencilla durante el desarrollo de aplicaciones. El CM-530 es compatible con el software Eclipse basando en lenguaje de programación C++ lo que permite la creación de movimientos y comportamientos complejos en robots. Dispone de conectividad inalámbrica mediante módulos Zigbee y Bluetooth, facilitando la comunicación y el control remoto de los robots.

Figura 3. Controlador CM-530.

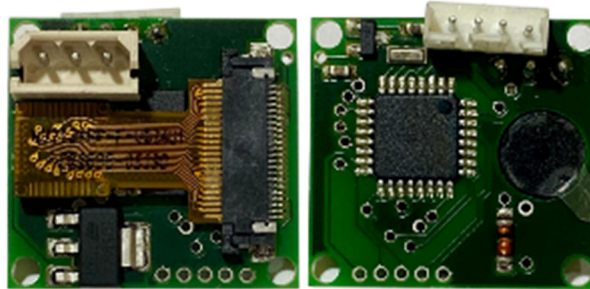


Fuente: User manual CM-530.

Cámara HaViMo 2.0

HaViMo 2.0 de la Figura 4, es una alternativa de solución para la visión por computadora orientada a microprocesadores de bajo consumo. El dispositivo está equipado con una cámara CMOS y un microcontrolador que realiza el procesamiento de imágenes y cuyos resultados se acceden a través de un puerto serial.

Figura 4. Cámara HaViMo 2.0.



HaViMo 2.0 cuenta con dos algoritmos de preprocesamiento de imágenes: El algoritmo de Gradiente y el algoritmo de Mallado, ambos ideales en aplicaciones como el reconocimiento de objetos y auto localización. Por otro lado, en la parte del hardware, el módulo genera una imagen de 160×120 *pixeles*, con una profundidad de color de 12 *bits* YCrCb, a una velocidad de 19 *fps*. HaViMo2.0 es compatible con algunos controladores de la empresa ROBOTIS lo que permite integrarse en programas creados con RoboPlus comunicándose a través protocolos seriales Half-Duplex y Full-Duplex.

Para esta investigación se utilizó el algoritmo de gradiente ya que se puede detectar áreas conectadas de un mismo color en una imagen. Para ello, es necesario hacer un proceso de calibración previo a través de la interfaz gráfica de usuario HaViMo GUI.

Procesamiento de imágenes con Gradiente

El algoritmo segmenta la imagen en regiones (blobs) según el color, asignando un ID único a cada región y determinando las coordenadas de sus píxeles, así como las posiciones mínimas y máximas en los ejes X e Y. También calcula el centroide de cada región, útil para dirigir al robot hacia un objetivo específico basado en su posición.

UsbDynamixel

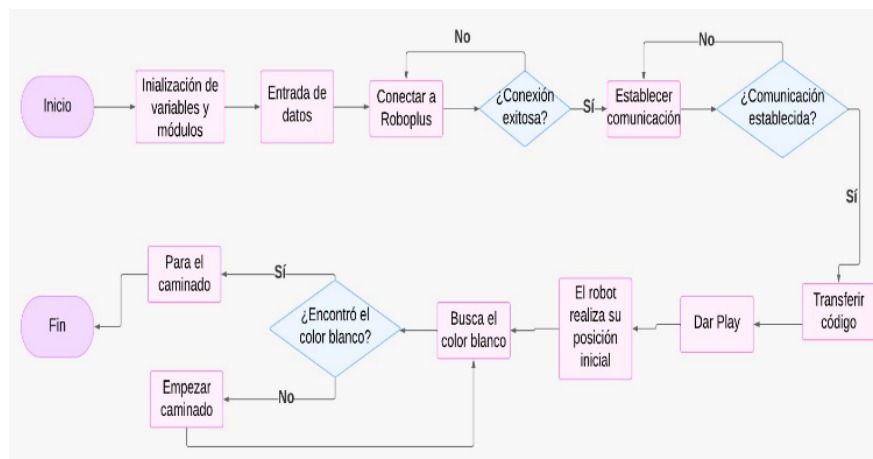
El UsbDynamixel de la Figura 5 es un dispositivo de comunicación USB que permite controlar y operar motores Dynamixel directamente desde una computadora. Este dispositivo se conecta a través del puerto USB de la PC y permite la conexión de varios motores Dynamixel utilizando conectores 3P y 4P. Su utilidad radica cuando no se tiene un puerto serial en tu computadora. También puede cambiar de puerto USB a puerto serial, lo que facilita la comunicación con los controladores exclusivos de Dynamixel.

Figura 5. USBDynamixel.

Fuente: User manual USBDynamixel.

RESULTADOS

Para el desarrollo del proyecto se utilizó el software de programación Eclipse que al ser una plataforma de código abierto permite la compatibilidad con el controlador CM-530 utilizando la librería STM32F10X_LIB (Eclipse, 2021). La lógica de programación se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 6.

Figura 6. Diagrama de flujo de datos del código.

Utilizando la librería `stm32f10x_lib`, se desarrolló un código para el control de servomotores y la interpretación de datos de sensores, incluyendo el manejo de interrupciones para una rápida respuesta ante eventos, como la detección de patrones de blancos.

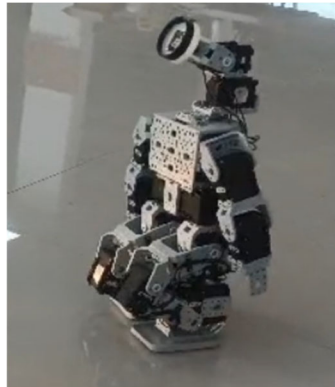
Para poder identificar objetos de color blanco fue necesario conocer su ubicación de este. Se empleó el algoritmo de gradiente para calcular y localizar el centroide del objeto. El centroide se formó por dos coordenadas (X y Y) y se calculó con la Ecuación 1 y Ecuación 2.

$$Cx = \left(\frac{MaxX - MinX}{2} \right) + MinX \quad | \dots (1)'$$

$$Cy = \left(\frac{MaxY - MinY}{2} \right) + MinY \quad | \dots (2)'$$

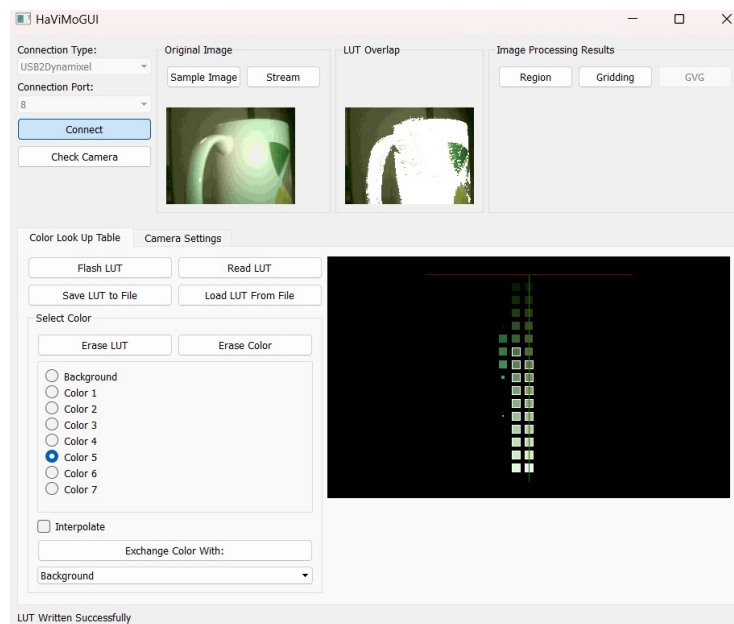
A la estructura del robot Bioloid Premium Tipo A se adicionaron dos grados de libertad para incluir la cámara HaViMo 2.0. Los servomotores adicionales permitieron realizar los movimientos de guiñada y cabeceo en el robot, en la Figura 7 7, se muestra el armado del robot.

Figura 7. Cámara HaViMo 2.0 en robot Bioloid Premium Tipo A.



Adicional a ello, se calibró y configuró el módulo HaViMo 2.0 que se muestra en la Figura 8, a través de la interfaz gráfica HaViMo GUI. Este software permite ajustar los parámetros de la cámara como exposición, ganancia, balance de blancos permitiendo así una identificación de colores más adecuada.

Figura 8. Calibración y configuración de cámara HaViMo 2.0.



El proyecto alcanzó el objetivo de implementar exitosamente un sistema de detección del color blanco en el robot Bioloid Premium tipo A utilizando la cámara HaViMo 2.0. Se logró

establecer una conexión estable entre el controlador CM-530 y la cámara, permitiendo la transferencia de datos en tiempo real para el análisis visual. El código desarrollado en el entorno Eclipse funcionó de manera eficiente, habilitando al robot para identificar y seguir patrones específicos en su entorno. Además, el sistema demostró un desempeño estable, manteniendo el equilibrio del robot mientras realizaba el seguimiento, lo que valida la funcionalidad y precisión del diseño implementado.

CONCLUSIONES

El proyecto demostró la viabilidad de integrar la cámara HaViMo 2.0 como sistema de visión en el robot Bioloid Premium Tipo A para tareas de seguimiento de patrones. La conexión estable entre el controlador CM-530 y la cámara permitió una transferencia de datos eficiente, asegurando la correcta detección y seguimiento de patrones en el entorno del robot. Además, la calibración de la cámara identificando los colores de forma precisa, contribuyeron significativamente al desempeño del sistema. Este trabajo sienta las bases para aplicaciones más complejas en robótica autónoma para el TecNM en Celaya.

El robot Bioloid Premium de la empresa Robotis demuestra ser una herramienta que posibilita en muchas maneras el estudio de aplicaciones en el área de robótica para un público que inicia su trayectoria en el área. La integración de la cámara HaViMo 2.0 es una alternativa de bajo costo para aplicaciones en donde el procesamiento de imágenes no demande un nivel alto de recursos al controlador.

El desarrollo de este trabajo representó una aplicación práctica de los conocimientos adquiridos durante la formación académica de los estudiantes de ingeniería y mostró el enfoque del Tecnológico Nacional de México en el desarrollo de proyectos innovadores que fomentan el aprendizaje basado en la experimentación y la solución de problemas reales en el ámbito de la robótica.

BIBLIOGRAFÍA

- Brauer, P. (2013). *Control de un robot humanoide mediante redes neuronales pulsantes para la manipulación de objetos*. [Maestría en Ciencias de la Computación, Instituto Politécnico Nacional]
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/12683/1/Tesis%2013410.pdf>
- Cacique, V.; Camarillo, K., Ruiz, J., Pulido, K. y Nava, M. (2021). Desarrollo de algoritmos para la estimación de distancias y localización en un robot humanoide. *Pistas Educativas*, No. 140.
<https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/viewFile/2621/2028>
- Eclipse Foundation. (2021). *Eclipse IDE*. <https://www.eclipse.org/>
- González, C., García M., Narváez, L. y Bacab, R. (2017). Robot Bioloid Premium Jaranero Controlado Remotamente Por Voz. *Pistas Educativas*, No. 126.
<https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/viewFile/834/846>
- Hernández, J., Santoyo, M. López, D., Camarillo, K., Perez, G. y Padilla, J. (2013). *Programación de portero humanoide para FIRA 2013*. XV COMROB 2013.

https://www.researchgate.net/profile/Karla-Camarillo-Gomez/publication/275343881_Programacion_de_Portero_Humanoide_para_FIRA_2013/links/5539235e0cf2239f4e7d1600/Programacion-de-Portero-Humanoide-para-FIRA-2013.pdf

ROBOTIS. (2021). *RoboPlus Software*. <https://www.robotis.com/>

Silva, A., Peña, C y Enrique, L. (2013). *Sistema de inspección y vigilancia utilizando un robot aéreo guiado mediante visión artificial*. Scientific Electronic Library Online. <http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v10n2/v10n2a06.pdf>

Vázquez, J. L., (2013). HaViMo 2.0: Módulo de Procesamiento de Imágenes.

Zavala, J., Cacique. V., Ruiz, C., Morales, A. y Valdovinos, J. (2019). Desarrollo de algoritmos para identificación de objetos implementados con método de mallado y gradiente en un robot humanoide. *Pistas Educativas*, No. 134. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/viewFile/1982/1703>