



Diseño e Implementación de un Brazo Robotico Industrial con 5 Grados de Libertad Guiado por Kinect

Design and Implementation of an Industrial Robot Arm with 5 Degrees of Freedom Guided by Kinect

Projeto e implementação de um braço robótico industrial com 5 graus de liberdade guiados pelo Kinect

Israel Rigoberto Minda-Valverde ^I

israelsumi@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0385-9120>

Alex Fernando Ricaurte-Segovia ^{II}

alexfer18@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7267-1319>

Jorge Luis Conza-Jumbo ^{III}

conza.jorge@yahoo.es

<https://orcid.org/0000-0003-0938-2829>

Patricio Javier Arroba-Villacís ^{IV}

patricio.javi@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5601-0863>

Correspondencia: israelsumi@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 30 de octubre de 2021 ***Aceptado:** 30 de Noviembre de 2021 *** Publicado:** 13 de Diciembre de 2021

- I. Ingeniero en Electrónica en Control y Redes Industriales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, inscrito a Master Universitario en electrónica y automatización en la Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- II. Ingeniero en Electrónica en Control y Redes Industriales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Master Universitario en Inteligencia Artificial, Universidad de la Rioja – UNIR.
- III. Licenciado en ciencias de la educación, mención Matemática y Física por la universidad central del Ecuador, estudiante de Master universitario en Matemática, mención modelación y docencia por la Escuela Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Ingeniero en Mecatrónica, Master universitario en Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial - Universidad de Málaga, Málaga, España.

Resumen

El objetivo del presente proyecto fue diseñar e implementar un brazo robótico industrial con 5 grados de libertad guiado por Kinect, el mismo fue construido en un 90% con metal (hierro) para darle mayor resistencia y estabilidad, para el movimiento del robot se implementaron 3 motores DC de 2.1HP ubicados en las primeras 3 articulaciones debido al torque que se necesita en esta parte del brazo, en estos motores se colocaron sensores en sus ejes (encoders) para poder controlarlos con mayor precisión, y dos servomotores de 4.1 kg.cm en la parte final, dándole 5 grados de libertad al brazo robótico. Se utilizó como sensor encargado de guiar el prototipo, una cámara Kinect que permitió obtener una imagen tridimensional para calcular la profundidad con respecto a los objetos que la rodean, la misma que envía las imágenes al procesador Raspberry Pi 3, que fue programado para la realización del tracking de objetos a través de Python para obtener la posición del objeto donde llegara el actuador final en los tres ejes X, Y, Z. En el diseño se comprueba que el brazo robótico tiene una precisión del 90%. Después de la implementación del brazo mecánico se concluye que es necesario un sistema de iluminación adecuado para obtener resultados con un nivel de fiabilidad justo. Se recomienda tener como medida de seguridad finales de carrera ubicados estratégicamente para brindar protección a la estructura y al operador en caso de alguna falla del sistema.

Palabras Clave: Tecnología y Ciencias de la Ingeniería, Inteligencia Artificial; Robótica; Grados de Libertad; Raspberry Pi 3 (Software-Hardware).

Abstract

The main purpose of this project was to design and implement an industrial robot arm with 5 degrees of freedom guided by Kinect. This robot arm was constructed in a 90% with metal (iron) to give it greater resistance and stability while for its movement three DC motors of 2.1 HP were implemented, and they were located in the first three joints due to the torque that is needed in this part of the arm. In the axes of these three motors, sensors (encoders) were placed to be able to control them with more precision, and two servomotors of 4.1kg. cm at the end, giving the robotic arm 5 degrees of freedom.

A Kinect camera was used as a sensor to guide the prototype, this, made possible to get a three-dimensional image to calculate the depth with respect to the objects that surround it. The camera sends the images to the processor Raspberry Pi 3, which was programmed for the realization of

the tracking of objects through Python to determine the position of the object where the final actuator will arrive in the three axes X, Y, Z.

This design demonstrates that the robotic arm has an accuracy of 90%. After the implementation of the mechanical arm, it is concluded that a suitable lighting system is necessary in order to get outcomes with an appropriate level of reliability. It is recommended as a security measure; to have end-of-strokes strategically placed to provide structure and operator protection in case of a system failure.

KeyWords: Technology and Engineering Sciences; Artificial Intelligence; Robotics; Degrees Of Freedom; Raspberry Pi3 (Software-Hardware)

Resumo

The objective of this project was to design and implement an industrial robotic arm with 5 degrees of freedom guided by Kinect, it was built 90% with metal (iron) to give it greater resistance and stability, for the movement of the robot 3 were implemented 2.1HP DC motors located in the first 3 joints due to the torque that is needed in this part of the arm, in these motors sensors were placed on their axes (encoders) to be able to control them with greater precision, and two servo motors of 4.1 kg.cm in the final part, giving 5 degrees of freedom to the robotic arm. A Kinect camera was used as the sensor in charge of guiding the prototype, which allowed obtaining a three-dimensional image to calculate the depth with respect to the objects that surround it, the same one that sends the images to the Raspberry Pi 3 processor, which was programmed for the realization. of object tracking through Python to obtain the position of the object where the final actuator will arrive in the three axes X, Y, Z. In the design it is verified that the robotic arm has a precision of 90%. After the implementation of the mechanical arm, it is concluded that a suitable lighting system is necessary to obtain results with a fair level of reliability. It is recommended to have strategically located limit switches as a safety measure to provide protection to the structure and the operator in the event of a system failure.

Keywords: Engineering Science and Technology, Artificial Intelligence; Robotics; Degrees of freedom; Raspberry Pi 3 (Software-Hardware).

Introducción

La tecnología ha venido acogiendo los distintos campos de la vida cotidiana del ser humano. Desde el hogar hasta la industria, pasando por los sistemas de control, de seguridad y de procesos. Sin duda es el industrial el que más progreso y dinero produce por lo que la necesidad de nuevas ideas es imperativa.

En este contexto la visión artificial ha venido a agolpar un gran punto de apoyo sobre los controles industriales y llegando a convertirse en los ojos del nuevo futuro que cada vez está más cerca.

Pero no puede funcionar por su propia cuenta y en cuanto al controlador principal, ya la actualidad no quiere ocupar grandes espacios con computadoras portátiles o de mesas, por lo que se ha elegido la placa revolucionaria Raspberry Pi. Un microcomputador de costo muy modesto que salió al mercado en el año 2011 y que ha venido actualizándose automáticamente. Aunque en un principio se veía como una plataforma de prueba, dirigida a los estudiantes, actualmente sus recursos se han convertido en verdaderas fuentes de soluciones reales y aplicativas.

La Robótica también forma parte de este proyecto que une sus recursos a la visión artificial y en este caso le da una realidad al tracking de objetos, en donde la primera intención es reconocer un objeto y luego alcanzarlo. Por su valor potencial las aplicaciones han sido dirigidas al campo industrial. Y el presente proyecto también tiene esa misma base de operación.

Contenido

La visión artificial es una de las ramas de las ciencias que estudian la inteligencia artificial. La V.A, modela las fases de percepción de la imagen, crea programas que puedan reproducirlos a través de un computador, su versatilidad puede apoyar el desarrollo de varios campos y aplicaciones como reconocimiento de caracteres, interpretación de imágenes y escenas, robótica, medicina, etc. Este prototipo usa los conocimientos de robótica y a su vez la robótica industrial, y se descubre que al ser implementados con Kinect puede cumplir la función de identificación, localización y detección adecuada de objetos. Siendo multifuncional y práctico de modo que establezca una interacción adecuada con el ambiente de trabajo.

Imagen Digital

Una imagen digital está formada por una retícula rectangular, esta a su vez está formada por celdas, que son la menor unidad en color de una imagen digital. A la mencionada celda se le conoce con el nombre de pixel. Cada pixel está formado por tres subpixeles: rojo, verde y azul; cada uno con diferente intensidad de brillo (Enrique Benimeli, 2011, p.1).

La resolución de una imagen digital es la cantidad de pixeles por pulgada. A una mayor resolución se obtendrá una información digital más detallada d la imagen.

Procesamiento inteligente de imágenes

El sistema de procesamiento de imágenes se ejecuta en un minicomputador Raspberry Pi 3. Para el desarrollo de software del prototipo inteligente se usa Python y librerías de OpenCv,

El procesamiento de imágenes consta de dos partes el reconocimiento facial e identificación de colores y formas de objetos 2D. La primera fase comprende de un algoritmo de umbralizacion, mientras que la segunda emplea técnicas de visión artificial, en consideración a las características de software empleado.

Etapas de un sistema de Visión Artificial

Un sistema de Visión Artificial necesita de un conjunto de procesos ordenados sistemáticamente; los mismos que están destinados a procesar las características de una escena u objeto, para que posteriormente en conjunto con sensores, actuadores; se pueda cumplir con el objetivo específico del sistema (Técnicas y Algoritmos Básicos de Visión Artificial, 2006, p 15).

Las etapas de un sistema de Visión Artificial son:

- Etapa Sensorial.
- Etapa de pre-procesado.
- Etapa de segmentación.
- Etapa de parametrización.
- Etapa de clasificación.
- Etapa de actuación según resultados.

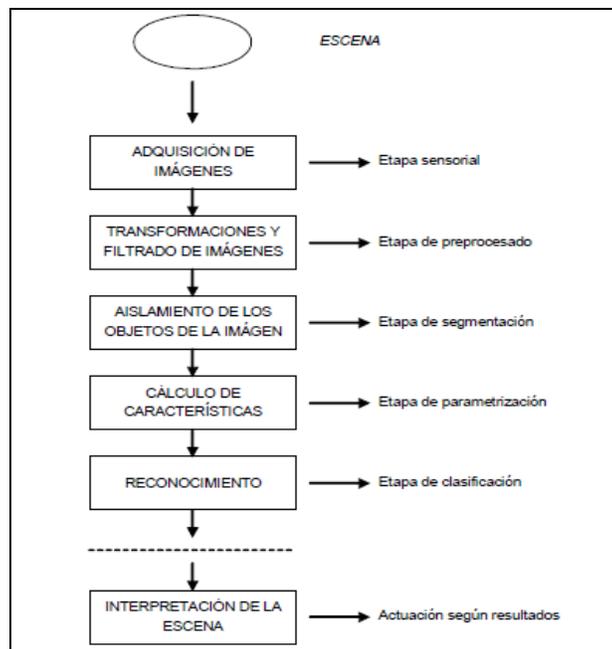


Figura 1: Etapas de un sistema de visión

Un sistema de Visión Artificial debe seguir un conjunto de procesos consecutivos. En primer lugar, se adquiere la imagen o escena a través de la cámara. Luego la imagen capturada es procesada; aquí se obtiene una información más precisa al eliminar ruido en la misma. En estas dos primeras etapas se realiza un tratamiento y análisis de la imagen más simple y global.

Posteriormente se realiza la segmentación de la imagen; aquí se separa en regiones u objetos de ser el caso. Luego de tener la escena separada por regiones se analiza los objetos característicos como el color, la textura, la forma, el diámetro, el área; etc.

En estas etapas se le da un tratamiento a la imagen más personalizado de las regiones que la conforman.

OpenCv incluye clasificadores pre-entrenados, como haar cascade y eyes cascade, los cuales se descargan como archivo XML. Además del algoritmo eignefaces para extraer los rasgos fáciles. Lo cual simplifica el trabajo.

Tracking de objetos (seguimientos de objetos)

El tracking de objetos o seguimiento de objetos, es un proceso que permite en determinando tiempo obtener la ubicación de uno o de varios objetos móviles, este proceso se realiza mediante

el uso de una cámara, que a su vez tiende a tardar un poco debido a la cantidad de información que tiene un video, conjuntamente con las técnicas de reconocimiento, siendo determinante en este procedimiento se aumenta su complejidad.

La cámara determina la ubicación del objeto y la estructura a través de píxeles, obteniendo la posición y la el tamaño de objeto en tiempo real, de esta forma se disponen a calcular su movimiento, considerando la compleja relación que tiene la proyección de la figura con el objeto, sin embargo, no tiene solo dependencia del moviendo del objeto, también influyen otros factores, esto conlleva a que su desplazamiento se convierta en una tarea un tanto complicada.

Método de umbralización.

El método de umbralización es considerado como uno de los más principales, su propósito es transformar una imagen de una escala de gris a otra con solo dos niveles, de esta forma los elementos serán independientes del fondo, clasificando los píxeles de la imagen como fragmentos de ella.



Figura 2: Objetos claros sobre un fondo oscuro

Su extracción se la realiza seleccionando el umbral de intensidad T que divide los dos objetos. Con esta forma cualquiera de los puntos (x, y) para $f(x, y) > T$, integrará al objeto, de lo contrario se integrará al fondo.

Usualmente se pueden dar dos casos el umbralización: thresholding y histograming. En ambos se necesita aplicar un valor igual de gris, para evaluar la intensidad en cada uno de los píxeles.

En Thresholding: si el fondo no es tan claro que el objeto entonces es lo determina como parte del elemento, si no es así, pasa a formar parte del resto de la imagen.

El Histograming: la parte importante de la imagen se la haya por medio de un análisis de la misma tomando un rango para encontrar el objeto.

El Kinect

Ahora, si con el pasar de la tecnología hemos tenido buenas cámaras y demás recursos de hardware para el trabajo en visión artificial. ¿Por qué se propuso realizar este proyecto con el Kinect?

En primer lugar porque es un recurso potente y de grandes prestaciones, no solo se compone de una cámara RGB sino también de una cámara infrarroja con las cuales se puede tener una imagen y a la vez calcular su profundidad con respecto a los objetos que la rodean. También influye el que sea una herramienta novel, que apenas se lanzó a fines del 2010 y que promete un desarrollo impresionante. Por último se notó que al ser un producto de inmensa popularidad tendrá una mejora constante y que cada vez ampliara más sus horizontes por lo que elegirlo es ir a un trabajo con respaldo.

Raspberry pi 3

Al Raspberry pi 3 se lo considera como un computador de placa simple o reducida, su desarrollo fue dado en reino Unido, uno de los objetivos fue alentar que se enseñe este tipo de ciencias como lo es la computación.



Figura 3: Raspberry pi 3

- Chipset Broadcom a 1.2 GHz con procesador ARM Cortex-A53 de 64 bits y cuatro núcleos
- Coprocesador multimedia de doble núcleo Videocore IV
- Tiene una memoria de 1 GB LPDDR2 y Bluetooth v4.1
- diseñado con 1 x Ethernet, 1 x HDMI, 1 x VGA, 1 x CSI, y 4 x USB

Figura 4: Descripción de procesador

Diseño e implementación de prototipo

El diseño del robot es totalmente inédito, el modelamiento de las piezas, simulación y verificación del espacio de los componentes se realizó en SolidWorks para su posterior fabricación en metal.

Consta de una base elaborada en metal de 3 mm para brindar soporte la estructura donde se asienta dos discos de nylon de 3cm uno sobre otro que le permitirá girar al primer eje en forma rotatoria, seguidamente se encuentran los siguientes eslabones elaborados de igual manera en metal de menor espesor para facilitar el movimiento, a continuación la gráfica para más explicación:

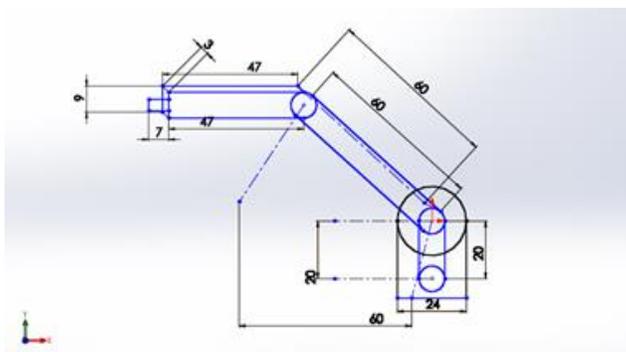


Figura 5: medidas reales en cm

Dimensiones:

Mesa: 60 x 60 x 60

Primer eslabón: 61 x 2.5cm x 4cm

Segundo: 42cm x 2.5cm x 4cm

Tercer eslabón: 14cm x 2.5cm x 4cm

Cuarto eslabón: 7cm

Metodología de Denavit-Hartenberg

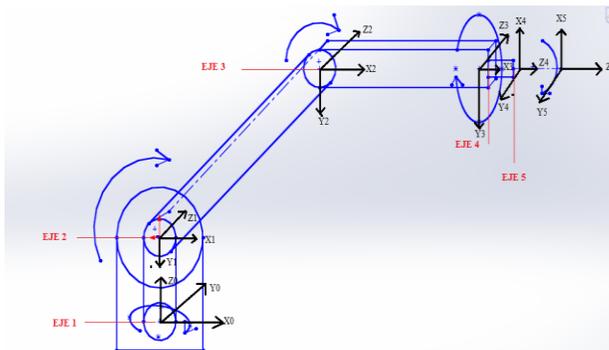


Figura 6: Esquema del brazo robot con sus respectivos ejes.

Para este brazo robótico de 5GDL se ha desarrollado la siguiente tabla de posicionamiento.

Tabla I: Parámetros DH

ELEMENTO	α_i°	a_i	θ_i°	d_i
1	90	0	θ_1	l_1
2	0	l_2	θ_2	0
3	0	l_3	θ_3	0
4	0	0	θ_4	0
5	90	0	θ_5	l_4

Método Geométrico

Es un método sencillo y muy aplicado para brazos de pocos grados de libertad y con una sola forma de articulación.

Su proceso y funcionalidad se basa en usar la posición final a donde se desea hacer llegar al actuador final. A partir de allí, se ocupan funciones trigonométricas senos y cosenos, con los cuales se obtiene los ángulos de inclinación que necesita cada una de las articulaciones.

Como podemos apreciar en la imagen, necesitamos conocer (a parte de la posición final del actuador) la posición de la base o punto de inicio.

Además, las dimensiones de la altura de la barra, longitud del brazo, longitud del antebrazo y longitud de la muñeca. Ya que el resultado final de esta resolución depende directamente de estos datos físicos que deben ser exactos.

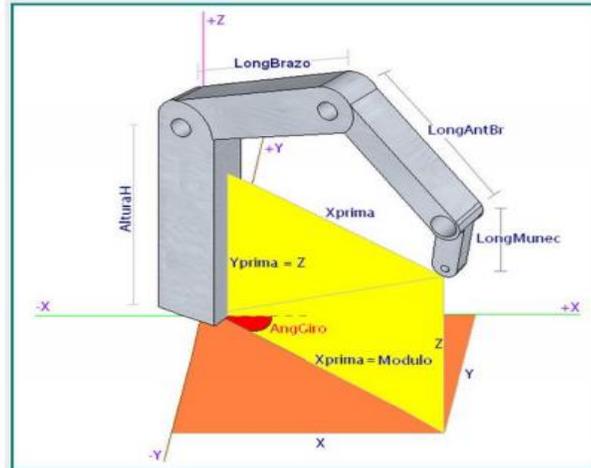


Figura 7: Esquema Geométrico

Resolución del Método Geométrico.

$$Afx = \cos(\text{Cabeceo}) * \text{LongMunec}$$

$$\text{LadoB} = X - Afx$$

$$Afy = \sin(\text{Cabeceo}) * \text{LongMunec}$$

$$\text{LadoA} = Y - Afy$$

$$\text{Hipotenusa} = \sqrt{(\text{LadoA})^2 + (\text{LadoB})^2}$$

$$\text{Alfa} = \tan^{-1}\left(\frac{\text{LadoA}}{\text{LadoB}}\right)$$

$$\text{Beta} = \cos^{-1}\frac{(\text{LongBrazo}^2 - \text{LongAntBr}^2 + \text{Hipotenusa}^2)}{2 * \text{LongBrazo} * \text{Hipotenusa}}$$

$$\text{AngBrazo} = \text{Alfa} + \text{Beta}$$

$$\text{Gamma} = \cos^{-1}\frac{(\text{LongBrazo}^2 + \text{LongAntBr}^2 - \text{Hipotenusa}^2)}{2 * \text{LongBrazo} * \text{LongAntBr}}$$

$$\text{AngAntBr} = -(180 - \text{Gamma})$$

$$\text{AngMunec} = \text{Cabeceo} - \text{AngBrazo} - \text{AngAntBr}$$

Figura 8: Método Geométrico

Circuito impreso utilizado en el prototipo

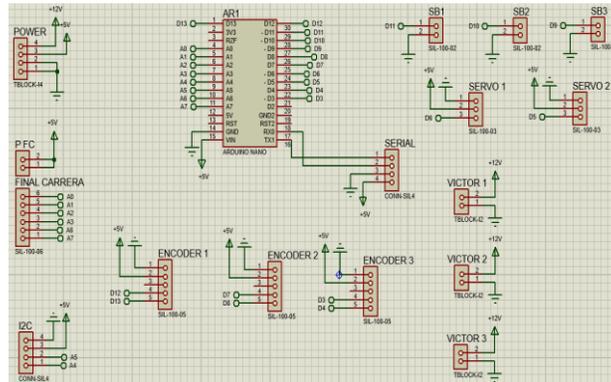


Figura 9: Diagrama electrónico

Funcionamiento

Los 3 primeros motores al ser DC cuentan con sensores (encoders) ubicados en sus ejes posibilitando ubicar al efector final en una posición requerida por el control de la visión artificial. Para limitar los movimientos de todas las articulaciones se precisó también colocar finales de carrera y con ello limitar el espacio de trabajo, y brindar protección a la estructura y al operador. En la siguiente imagen se pueden ver los sensores que limitan este trabajo y permite que el brazo no se exceda en sus movimientos.



Figura 10: Finales de carrera

Finalmente se puede apreciar cómo están acoplados los motores con los eslabones, dando así 3 movimientos de traslación y dos de rotación.



Figura 9: Prototipo ensamblado

Análisis De Resultados

A continuación se detalla los parámetros más importantes que se ha medido con el funcionamiento del brazo robótico.

Tabla II: Movimiento a 45°

MOVIMIENTO – PRIMERA ARTICULACIÓN 45°		
INTENTO	GRADOS	TIEMPO(SEG)
1	35	0,45
2	10	0,15
3	35	0,5
4	40	0,55
5	40	0,55
6	40	0,40
7	40	0,55
8	40	0,45
9	40	0,6
10	35	0,5

Tabla III: Movimiento a 45° 2do eje

SEGUNDO BRAZO – SEGUNDA ARTICULACIÓN 45°		
INTENTO	GRADOS	TIEMPO(SEG)
1	50	0,35
2	55	0,40
3	-20	0,20
4	55	0,35
5	40	0,30
6	45	0,35
7	45	0,40
8	40	0,35
9	45	0,40
10	50	0,30

Análisis del Mecanismo del Funcionamiento por Medio de Animaciones, en Msc.Adams

A continuación se tiene la simulación del prototipo con las dimensiones, peso y material real para su análisis.

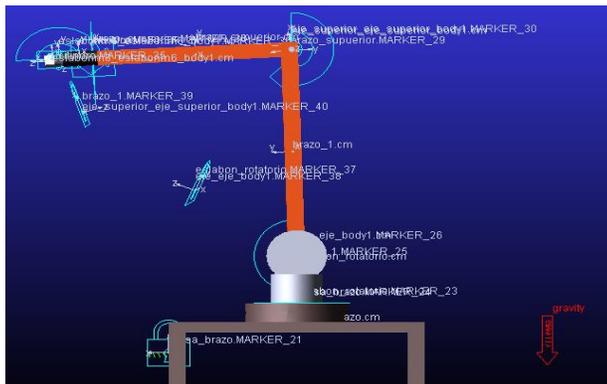


Figura 11: Modelamiento en Adams 2017

Graficas de las medias más sobresalientes, tomadas al tiempo de 10 seg.

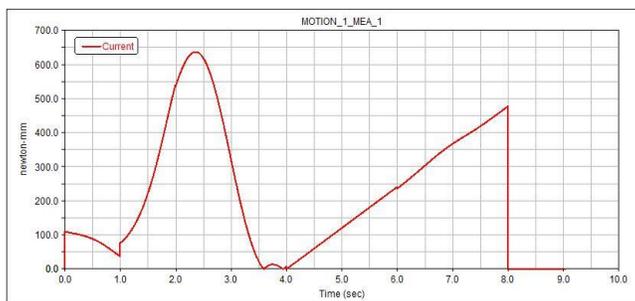


Figura 12: Torque del primer eje.

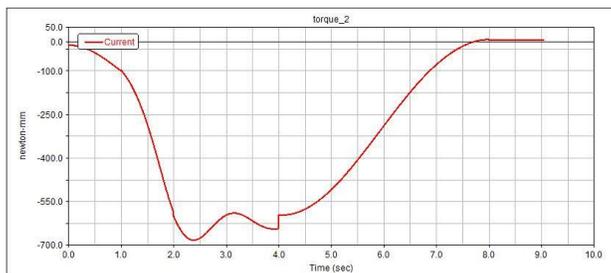


Figura 13: Torque del segundo eje.

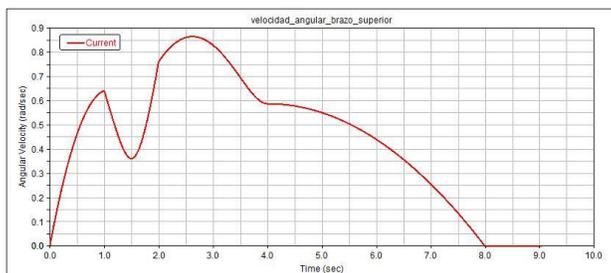


Figura 14: Velocidad angular tercer eslabón

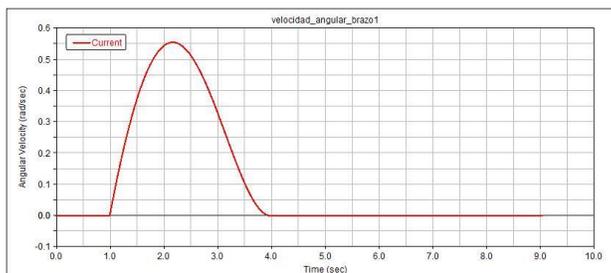


Figura 15: Velocidad angular segundo eslabón

Apreciación de los resultados

Rápidamente se puede decir observando las gráficas que los picos más altos y bruscos de torque se generan en el primer eje dado por N.mm y en los tiempos que el mecanismo así lo requiere. Se ha tomado la velocidad angular del segundo y tercer eslabón por ser los que más movimiento en este tipo despliegan dándonos en el segundo una constante a los 4seg.

Conclusiones

La implementación del brazo fue posible y completa, logrando culminar exitosamente con el objetivo esperado.

Se ha demostrado la capacidad de la Raspberry pi aplicada en la visión artificial al movilizar un brazo robótico en dirección de un objeto a buscar, mediante software.

Se demuestra que para la ejecución de un brazo robótico en tiempo real se necesita la correcta armonía entre fuerza y peso de la estructura del robot.

Se concluye de forma definitiva que los sistemas de visión artificial requieren de un sistema de iluminación adecuado para obtener resultados con un nivel de fiabilidad concreto.

Los brazos robóticos que cuentan con 5 grados de libertad tienen la capacidad de llegar a todos los rincones dentro de su espacio de trabajo.

Se señala la importancia de las medidas de seguridad al momento de maniobrar el brazo ya sea en sus riegos mecánicos, eléctricos y físicos.

La dificultad del brazo robótico radica en la construcción y utilidad de los componentes mecánicos dándole un grado de complejidad alto.

La recolección de datos por parte de la cámara Kinect ha sido totalmente eficiente permitiéndonos ubicar el objeto en los planos x, y y z.

Recomendaciones

Al momento de la construcción trabajar con cálculos reales (peso, altura, rotación, inclinación, torque) ya que todo influye en el resultado final.

Se recomienda usar motores paso a paso o servomotores en lugar de motores DC por su manejo de precisión.

Es necesario hacer un análisis dinámico para dimensionar la capacidad de los motores y demás componentes.

Para mayor eficiencia se podría implementar la alimentación independiente para cada motor.

Es conveniente realizar un correcto estudio del presupuesto mecánico y eléctrico para que el sistema no se vea limitado al momento de su implementación.

Se recomienda analizar profundamente investigaciones pasadas ya que no siempre proveen los datos reales.

La luz en el área de trabajo para Kinect debe ser la adecuada y el cuerpo poseer óptimas propiedades de forma y/o color.

La alimentación del dispositivo raspberry pi 3 debe ser el adecuado (datos de placa), en caso de no hacerlo puede presentar varios problemas de funcionamiento.

Referencias

1. Alba A., Ejercicios Con Opencv, Facultad De Ciencias, Uaslp, Septiembre 2011., Pp. 1-5.
2. Andujar C., Kinect., Pp. 9-16
3. Arbona A., Análisis De Imágenes De Profundidad Para Aplicaciones De Realidad Aumentada Mediante Del Uso De La Kinect., Valencia – España., Universidad Politécnica De Valencia, 2013., Pp. 1 -17
4. Departamento De Electrónica. *Sistema De Locomoción De Robots Móviles* [Web]. Sevilla-España. Automatización Y Robótica Industrial, 2010 Pp. 1-20
5. Diaz Celis C. Y Romero Molano C., Navegación De Robot Móvil Usando Kinect, Opencv Y Arduino., Meta – Colombia., Universidad De Llanos, 2012
6. España, Escuela Universitaria De Ingeniería Técnica Industrial De Madrid., Técnicas De Segmentación De Imágenes., Pp. 5.6 – 5.9
7. Grupo De Investigación Edmans. Técnicas Y Algoritmos Básicos De Visión Artificial, Universidad De La Rioja, Servicio De Publicaciones., 2006. Pp. 1-91.
8. Ibay Llangari, Luis Guido. Evaluación De Algoritmos De Tracking 3d Para La Simulación De Un Brazo Robótico, Mediante Kinect [En Línea], (Tesis). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad De Informática Y Electrónica, Escuela De Ingeniería Electrónica En Control Y Redes Industriales Riobamba- Ecuador. 2015. Pp. 24-127.
9. Machuca Mendoza, Cristian Rodrigo; & López Ayala, Luis Fernando. Locomoción De Un Robot Cuadrúpedo Basada En Redes Neuronales Artificiales (Tesis). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad De Informática Y Electrónica, Escuela De Ingeniería Electrónica En Control_Y Redes.
10. Ramirez A., Reporte De Búsqueda, Detección Y Conteo De Objetos., Guanajuato – México, Centro De Investigación En Matemáticas A.C

11. Salcedo Tovar, Marco Luis. Minicomputador Educacional De Bajo Costo Raspberry Pi. *Revista*
12. Yamanoor Sai; & Yamanoor Srihari. Raspberry Pi Mechatronics Projects Hotsh T [Web]. Birmingham: Packt Publishing, 2015, Pp.

© 2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).