



Informe de Robótica

Diseño, Construcción y Control de un Robot
Manipulador de 4 Grados de Libertad

Autor:

Juan Nicolas Salinas Pulgarin
Juan Diego Feria Ramirez
Kevin Steven Albarracin Vasquez
Juan Nicolas Gomez Novoa
Luis Miguel Ovalle Guerrero
Juan Diego Romero Bautista

Institución:

Universidad Ean

Fecha:

June 12, 2024

Contents

| | | |
|-------|------------------------------------|---|
| 0.1 | Introducción | 2 |
| 0.2 | Antecedentes | 2 |
| 0.3 | Diseño del sistema | 3 |
| 0.4 | Análisis cinemático | 4 |
| 0.4.1 | Jacobian Matrix | 5 |
| 0.5 | Entorno de simulación | 6 |
| 0.6 | Estrategia de control | 6 |
| 0.7 | Construcción del robot | 6 |
| 0.7.1 | Lista de materiales | 6 |
| 0.8 | Discusiones y resultados | 7 |
| 0.9 | Conclusiones | 8 |
| 0.10 | Referencias | 9 |

0.1 Introducción

En la industria hay procesos que realizar los que han evolucionado y buscan los robots manipuladores sirven como herramientas versátiles que pueden suplir estas acciones. Su capacidad para mover objetos con precisión y destreza los hace ideales para realizar tareas repetitivas o peligrosas para los humanos. Para este proyecto se presenta el diseño, construcción y control de un robot manipulador con cuatro grados de libertad (4GL) y una pinza en el extremo. Los objetivos para cumplir son:

- Adquirir experiencia con la cinemática directa e inversa del brazo robótico.
- Utilizar ROS2 para simulación y control de robots.
- Simular una tarea de agarre en un entorno virtual.
- Ensamblar un brazo robótico de 4 grados de libertad con un gripper.
- Demostrar el funcionamiento del brazo robótico.

0.2 Antecedentes

Un primer trabajo corresponde a una "Aplicación del microcontrolador M68HC12B para el control de un robot de 4 grados de libertad" [?], donde se abarcan aspectos importantes como el diseño de los robots donde "Sin importar cuál es la configuración anatómica del robot siempre estará constituido por dos componentes elementales: unión y articulación", donde una unión corresponde a la parte rígida y la articulación donde se unen dos o más uniones, también se centra en la implementación de un efector final que en este caso corresponde a una pinza para agarrar un objeto.

Un segundo trabajo de Cardoso et al. (2017) se denomina "Modelos cinemáticos y dinámicos de un robot de cuatro grados de libertad" [?], donde se abarcan las diferentes cinemáticas tanto inversa como directa. Para ese trabajo se implementó la cinemática de Denavit-Hartenberg, "se muestran los datos particulares del BRCD, se observan datos constantes que representan las dimensiones de los eslabones y los ángulos de torsión entre las articulaciones y 2, y las articulaciones 3 y 4 respectivamente", esto en relación con el robot que tiene cuatro grados de libertad debido a sus cuatro articulaciones y a su vez sus cinco eslabones incluyendo la base.

El proyecto realiza la cinemática directa e inversa tanto de la posición como de la velocidad, en la cinemática "...determina el valor de las variables de articulación en función de la posición del PT deseada", todo mediante la tabla de Denavit-Hartenberg.

Tabla 1. Parámetros DH para el BRCD.

| Eslabón (i) | a_i (cm) | α_i | d_i (cm) | θ_i |
|-----------------|--------------|--------------------|------------|------------|
| 1 | $a_1 = 0$ | $\alpha_1 = \pi/2$ | $d_1 = 0$ | θ_1 |
| 2 | $a_2 = 10,5$ | $\alpha_2 = 0$ | $d_2 = 0$ | θ_2 |
| 3 | $a_3 = 0$ | $\alpha_3 = \pi/2$ | $d_3 = 0$ | θ_3 |
| 4 | $a_4 = 0$ | $\alpha_4 = 0$ | $d_4 = 17$ | θ_4 |

Figure 1: parametros DH para BRCD.

0.3 Diseño del sistema

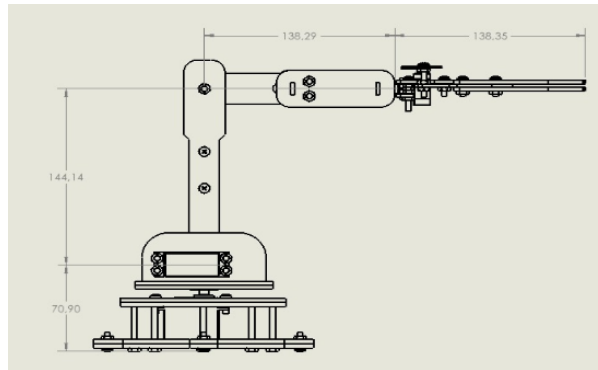


Figure 2: vista lateral.

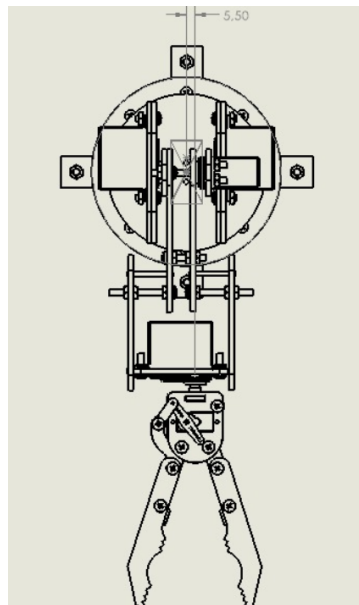


Figure 3: vista superior.

0.4 Análisis cinemático

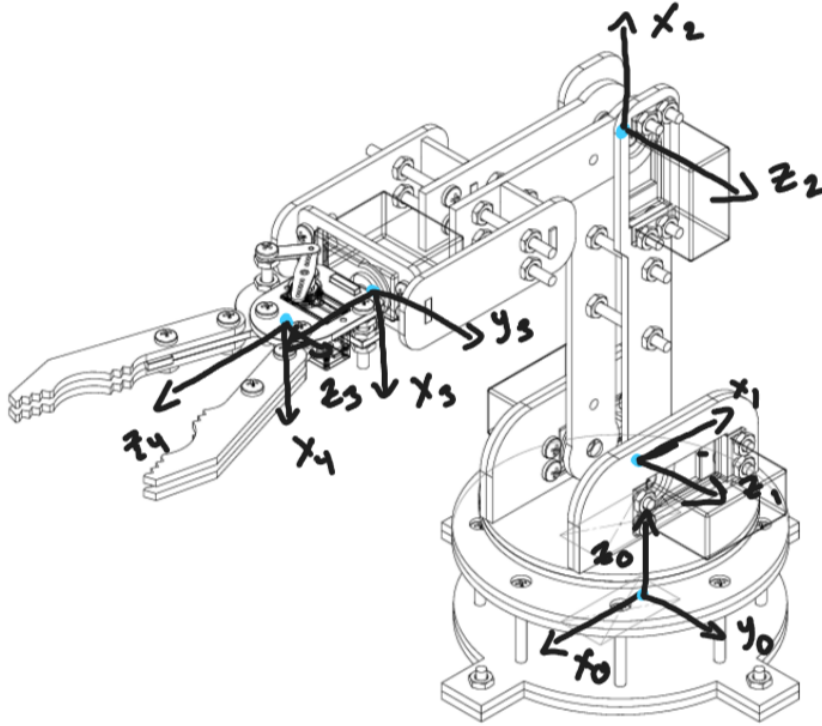


Figure 4: vista lateral.

| Art | d_i | θ_i | a_i | α_i |
|-----|--------|-------------------|--------|------------|
| 1 | 70.90 | $180^\circ + q_1$ | 0 | 90° |
| 2 | 0 | $90^\circ + q_2$ | 144.14 | 0 |
| 3 | 138.29 | $180^\circ + q_3$ | 0 | 90° |
| 4 | 0 | q_4 | 0 | 0 |

Table 1: Tabla de parámetros de Denavit-Hartenberg

Matrices de Transformación Homogénea

Para cada conjunto de parámetros DH, la matriz de transformación homogénea A_i se define como:

$$A_0 = \begin{bmatrix} -\cos(q_1) & 0 & -\sin(q_1) & 0 \\ -\sin(q_1) & 0 & \cos(q_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 70.9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} -\sin(q_2) & -\cos(q_2) & 0 & -144.14 \sin(q_2) \\ \cos(q_2) & -\sin(q_2) & 0 & 144.14 \cos(q_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -\cos(q_3) & 0 & -\sin(q_3) & 0 \\ -\sin(q_3) & 0 & \cos(q_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 138.29 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} \cos(q_4) & -\sin(q_4) & 0 & 0 \\ \sin(q_4) & \cos(q_4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La cinemática directa de un brazo robótico determina la posición y orientación del efector final dados los ángulos de las articulaciones. Para nuestro brazo robótico 4-DoF, las ecuaciones cinemáticas directas se derivan utilizando los parámetros de Denavit-Hartenberg. La posición del efector final (x, y, z) viene dada por:

$$A_{0-3} = \begin{bmatrix} -\sin(q_1)\sin(q_4) - \sin(q_2 + q_3)\cos(q_1)\cos(q_4) & -\sin(q_1)\cos(q_4) + \sin(q_4)\sin(q_2 + q_3)\cos(q_1) \\ -\sin(q_1)\sin(q_2 + q_3)\cos(q_4) + \sin(q_3)\cos(q_1) & \sin(q_1)\sin(q_4)\sin(q_2 + q_3) + \cos(q_1)\cos(q_4) \\ -\cos(q_4)\cos(q_2 + q_3) & \sin(q_4)\cos(q_2 + q_3) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_{0-3} = \begin{bmatrix} \cos(q_1)\cos(q_2 + q_3) & -138.29\sin(q_1) + 144.14\sin(q_2)\cos(q_1) \\ \sin(q_1)\cos(q_2 + q_3) & 144.14\sin(q_1)\sin(q_2) + 138.28\cos(q_1) \\ -\sin(q_2 + q_3) & 144.14\cos(q_2) + 70.9 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$x = f_1(-\sin(q_1)\sin(q_4) - \sin(q_2 + q_3)\cos(q_1)\cos(q_4) * -\sin(q_1)\cos(q_4) + \sin(q_4)\sin(q_2 + q_3)\cos(q_1) * \cos(q_1)\cos(q_2 + q_3)) * -138.29\sin(q_1) + 144.14\sin(q_2)\cos(q_1)$$

$$y = f_2(-\sin(q_1)\sin(q_2 + q_3)\cos(q_4) + \sin(q_3)\cos(q_1) * \sin(q_1)\sin(q_4)\sin(q_2 + q_3) + \cos(q_1)\cos(q_4) * \sin(q_1)\cos(q_2 + q_3) * 144.14\sin(q_1)\sin(q_2) + 138.28\cos(q_1))$$

$$z = f_3(-\cos(q_4)\cos(q_2 + q_3) * \sin(q_4)\cos(q_2 + q_3) * -\sin(q_2 + q_3) * 144.14\cos(q_2) + 70.9)$$

0.4.1 Jacobian Matrix

La matriz jacobiana relaciona las velocidades conjuntas con las velocidades lineales y angulares del efector final. Es crucial para resolver el problema de cinemática inversa. El jacobiano J viene dado por:

$$J = \begin{bmatrix} -\sin(q_4)\cos(q_1) + \cos(q_4)\sin(q_2 + q_3)\sin(q_1) & \cos(q_1)\sin(q_4)\cos(q_2 + q_3) \\ -\cos(q_4)\sin(q_2 + q_3)\cos(q_1) - \sin(q_3)\sin(q_1) & \sin(q_1)\sin(q_4)\cos(q_2 + q_3) \\ 0 & -\sin(q_4)\sin(q_2 + q_3) \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} -\cos(q_1)\sin(q_2 + q_3) & 0 \\ -\sin(q_1)\sin(q_2 + q_3) & 0 \\ -\cos(q_2 + q_3) & 0 \end{bmatrix}$$

0.5 Entorno de simulación

En esta sección se proporcionará una descripción detallada de la configuración de simulación utilizando ROS2. Se explicará cómo se ha configurado el entorno de simulación, incluyendo la definición del robot manipulador, el objeto a agarrar y sus coordenadas iniciales. Se detallarán los parámetros relevantes para la simulación y se discutirán las consideraciones importantes para garantizar la precisión y la fiabilidad de los resultados.

0.6 Estrategia de control

En esta sección se presentará la estrategia de control que se utilizará para dirigir el brazo robótico en la simulación y lograr la tarea de agarrar el objeto. Se discutirán los algoritmos de control implementados, como PID (Proporcional, Integral, Derivativo) o controladores basados en modelos, y se explicará cómo se ajustarán los parámetros del controlador para optimizar el rendimiento del sistema. Además, se abordarán posibles desafíos y consideraciones específicas relacionadas con la tarea de agarre, como la detección de colisiones y la planificación de trayectorias.

0.7 Construcción del robot

Para la construcción del robot en este caso no se realizó por impresión 3D, sino que se realizaron los diseños en SolidWorks y se dejaron en modelos 2D para posteriormente grabarlos y cortarlos en láminas de MDF en una cortadora láser de la Universidad Ean. Una vez se tuvieron las piezas, se procedió a ensamblar el robot por medio de tornillos y tuercas.

Primeramente, se armó la base que constaba de 4 piezas unidas por tornillos (4mm x 40mm, 4mm x 13mm y 2mm x 25mm), donde se colocaron un servomotor MG996 de 360 grados. Luego, junto a la última pieza de la base, se agregó el primer eslabón que consiste en los soportes para los servomotores, los cuales constan de 6 piezas unidas por tornillos de 4mm x 13mm, y dos servomotores MG995 de 180 grados que permiten mover el robot. Después, se conectó el segundo eslabón, que consta de dos piezas unidas por 4 tornillos más un servomotor MG995 de 180 grados al final de este, que lo conecta con el siguiente eslabón. Este siguiente eslabón consta de 7 piezas también unidas por tornillos y un servomotor MG995 de 180 grados que se encarga de cambiar la posición de la pinza entre horizontal y vertical, y a su vez, conectar con la siguiente y última parte del robot que es el efector final, en este caso, una pinza que está compuesta de 11 piezas más tornillos y tuercas, además de un servomotor MG995 de 180 grados que se encarga de abrir y cerrar los extremos de la pinza.

0.7.1 Lista de materiales

- Lámina de MDF de 1.83x2.44 de espesor 2.7mm (Solo se usó $\frac{1}{4}$ de esta lámina)
- 3 - Servomotor MG995 de 180°
- 1 - Servomotor MG995 de 360°
- 1 - Servomotor MG90s de 180°

- 35 - Tornillos de 4mm x 13mm
- 20 - Tornillos de 4mm x 40mm
- 5 - Tornillos de 4mm x 25mm
- 5 - Tornillos de 1.5mm x 25mm
- 5 - Tornillos de 2mm x 25mm
- 60 - Tuercas para tornillos de 4mm
- 5 - Tuercas para tornillos de 1.5mm
- 5 - Tuercas para tornillos de 2mm

0.8 Discusiones y resultados

Durante el desarrollo del proyecto hubo varios problemas, uno de los cuales se presentó en el proceso de diseño y construcción del robot de 4 grados de libertad. Se encontró un problema significativo con el segundo eslabón. La longitud excesiva del eslabón lo hacía considerablemente desmedido, generando un desequilibrio en el robot. Este problema resalta la importancia de considerar cuidadosamente la relación entre el peso de los componentes y la longitud de los eslabones en el diseño de robots. Un equilibrio adecuado entre ambos factores es crucial para garantizar la estabilidad y el desempeño óptimo del robot.

Además de la excesiva longitud del segundo eslabón, el peso excesivo en el efector final también fue un problema. Este peso desmedido contribuía a la inestabilidad del robot, especialmente al extender parcial o totalmente el brazo. La combinación del peso del efector con el de los servomotores y el segundo eslabón provocaba que el robot se inclinara hacia adelante, afectando su funcionamiento, perdiendo su centro de gravedad y cayendo al suelo. Por lo tanto, es importante optimizar el diseño del efector final, buscando materiales livianos y minimizando el número de componentes sin comprometer su funcionalidad. Un efector final ligero permitirá un mejor equilibrio del robot, especialmente al extender el brazo, garantizando una mayor estabilidad y un desempeño más eficiente.

Por otro lado, la elección del material para la construcción del robot de 4 grados de libertad también presentó un desafío significativo. El uso de MDF (Medium Density Fibreboard) como material principal generó problemas de rigidez. La flexibilidad inherente del MDF requería ajustes constantes, ya sea con tornillos adicionales o con partes extra para evitar que las piezas se movieran o deformaran, lo que afectaba la precisión del movimiento y la estabilidad general del robot.

A partir de este problema, resultó imprescindible considerar cuidadosamente las propiedades mecánicas del material seleccionado para la construcción de robots. La rigidez es un factor crucial para garantizar la estabilidad y precisión de los movimientos del robot. Opciones de materiales más rígidos, como el aluminio o el plástico ABS, podrían haber proporcionado una mejor estabilidad y reducido la necesidad de ajustes constantes, siempre y cuando se tenga el tiempo necesario.

0.9 Conclusiones

El proyecto del robot de 4 grados de libertad con pinza ha brindado una gran experiencia de aprendizaje que ha permitido alcanzar varios de los objetivos propuestos. Se logró comprender y aplicar los conceptos de cinemática directa e inversa para el control del robot, se completó el ensamblaje del brazo robótico utilizando MDF como material principal junto con los tornillos y tuercas para la unión de las piezas, y se demostró el funcionamiento básico del brazo robótico, moviendo sus articulaciones y realizando acciones simples.

Sin embargo, el proyecto también presentó algunos desafíos, comenzando con el uso de MDF como material principal, puesto que generó limitaciones en cuanto a la rigidez del robot, requiriendo ajustes constantes como tornillos adicionales o piezas extra para evitar deformaciones y mantener la precisión del movimiento. Además, el peso excesivo del efector final afectó la estabilidad del robot, especialmente en el escenario crítico que se presenta al extender el brazo, pues la combinación del peso del efector final, el segundo eslabón y los servomotores generó inestabilidad en el robot, inclinándose en ocasiones hacia adelante al extender el brazo.

Finalmente, el proyecto ha permitido adquirir conocimientos valiosos en cinemática, robótica y control, además de desarrollar habilidades prácticas en ensamblaje y programación. Lo aprendido a lo largo del proyecto junto con los errores identificados servirán como base para futuras prácticas y mejoras en el diseño y funcionamiento del robot.

0.10 Referencias

1. Cardoso, Eileen, Fernández, Adel, Marrero-Osorio, Sergio A., & Guardado, Pablo F. (2017). Modelos cinemático y dinámico de un robot de cuatro grados de libertad. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 38(3), 56-75. Recuperado el 07 de junio de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282017000300006&lng=es&tlng=es.
2. HERNÁNDEZ, M. (2007). APLICACIÓN DEL MICROCONTROLADOR M68HC12B PARA EL CONTROL DE UN ROBOT DE 4 GRADOS DE LIBERTAD [Tesis de maestría, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN]. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/21576/1/1020157536.pdf>.
3. Buitrago Salazar, Germán Darío, & Ramos Sandoval, Olga Lucía. (2015). SISTEMA TELEDIRIGIDO DE UN BRAZO ROBÓTICO DE 4 GRADOS DE LIBERTAD APLICANDO VISIÓN DE MÁQUINA. *Revista EIA*, (24), 121-129. Recuperado el 10 de junio de 2024, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372015000200008&lng=en&tlng=es.