

Robótica I

Tarea 6. Robot Antropomórfico de seis grados de libertad con Denavit-Hartenberg 9 de mayo de 2020

Marco Antonio Esquivel Basaldua

I. INTRODUCCIÓN

Los brazos mecánicos o robots antropomórficos que tienen la configuración antropomórfica presentan una gran destreza en su espacio de trabajo, ya que sus eslabones están unidos por articulaciones rotacionales. El espacio de trabajo de la configuración antropomórfica corresponde a una esfera hueca, cuyo radio es la suma de las longitudes de sus eslabones. Por su similitud con el brazo humano la segunda articulación se conoce como hombro y a la tercera se la llama codo.

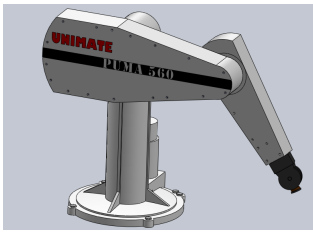


Figura 1. Robot PUMA 560 de la empresa Unimation.

Debido a las similitudes del robot pedido para la tarea con el Robot PUMA 560 (figura 1), se utiliza éste último para la realización de la tarea. En este robot, el sistema de referencia cartesiano fijo se encuentra sobre la base del robot donde z_0 corresponde al eje de rotación de la primera articulación. Este eje es ortogonal a los ejes z_1 , z_2 , y z_4 , como lo muestra la figura 3, y estos últimos son paralelos entre sí, lo que simplifica la implementación de la convención Denavit-Hartenberg.

II. CONVENCION DENAVIT-HARTENBERG EN EL ROBOT PUMA 560

En esta sección se aplica la convención Denavit-Hartenberg que se demostró en la tarea 3 para la manipulación del Robot PUMA 560 que se muestra en la figura 1 y cuyas dimensiones se pueden observar en la figura 2 (en pulgadas), necesarias para la aplicación de la convención Denavit-Hartenberg.

El esquema cinemático utilizado para la implementación de la convención se muestra en la figura 3. En esta figura se dan las medidas de los eslabones en metros y se incluye la disposición usada de los ejes z_i y x_i donde $i = 0, 1, \dots, 6$. Se puede observar que se usa un total de 6 articulaciones (6 grados de libertad) ya que se considera la muñeca del manipulador, además de un efector final ubicado a 17 centímetros de la rotación de la muñeca.

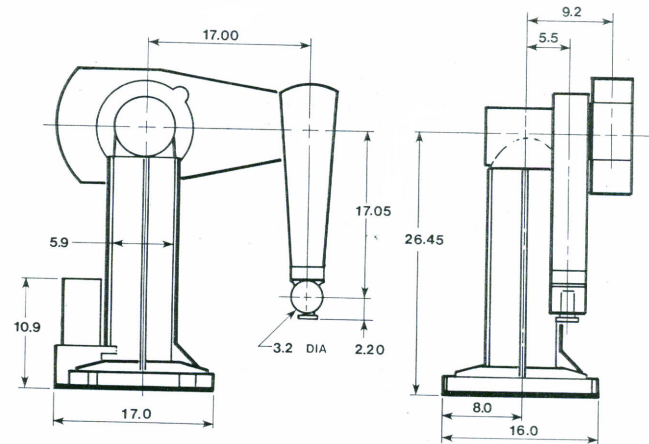


Figura 2. Dimensiones (en pulgadas) del PUMA 560.

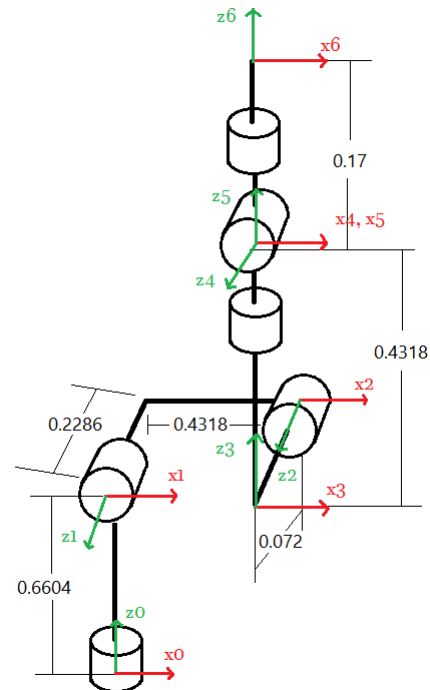


Figura 2. Esquema cinemático del Robot PUMA 560.

De acuerdo a lo establecido en la convención Denavit-Hartenberg se definen los parámetros

$$a_1 = 0, a_2 = 0.4318, a_3 = 0, a_4 = 0, a_5 = 0, a_6 = 0$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2}, \alpha_2 = 0, \alpha_3 = -\frac{\pi}{2}, \alpha_4 = \frac{\pi}{2}, \alpha_5 = -\frac{\pi}{2}, \alpha_6 = 0$$

$$d_1 = 0,6604, d_2 = -0,2286, d_3 = 0,072,$$

$$d_4 = 0,4318, d_5 = 0, d_6 = 0,17$$

Los valores θ_i con $i = 0, 1, \dots, 6$ corresponden a los ángulos de rotación de control para cada una de las articulaciones. Inicialmente estos ángulos son puestos a cero.

Se define A_i a la matriz de transformación homogénea que va desde la articulación $i - 1$ a la articulación i .

$$A_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_i & s\theta_i s\alpha_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_i & -c\theta_i s\alpha_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Se definen las matrices A_i con $i = 0, 1, \dots, 6$.

$$A_1 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & 0 & s\theta_1 & 0 \\ s\theta_1 & 0 & -c\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0,6604 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & 0,4318c\theta_2 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 & 0,4318s\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & -0,2286 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & 0 & -s\theta_3 & 0 \\ s\theta_3 & 0 & c\theta_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0,072 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} c\theta_4 & 0 & s\theta_4 & 0 \\ s\theta_4 & 0 & -c\theta_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0,4318 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} c\theta_5 & 0 & -s\theta_5 & 0 \\ s\theta_5 & 0 & c\theta_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_6 = \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 & 0 \\ s\theta_6 & c\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0,17 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sea 0_6T la matriz de transformación que mapea un punto en el espacio de tres dimensiones expresado en el marco de referencia 6 al marco de referencia 0, se calcula como

$${}^0_6T = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6$$

Esta multiplicación es llevada a cabo de forma numérica en la implementación. Por motivos de espacio y debido a la complejidad para expresar 0_6T de forma cerrada, ésta no se presenta en el documento.

III. IMPLEMENTACIÓN

Se utiliza el software *Webots* para la realización de la simulación. El robot PUMA en este software se muestra en la figura 3. Al final de la cadena cinemática se integra un sujetador como efector final, la posición del mismo se reporta en esta implementación.



Figura 3. Robot PUMA 560 en *Webots*.

Los rangos de los ángulos encada articulación están dados en radianes por

$$\theta_1 \in [-2,79, 2,79]$$

$$\theta_2 \in [-3,93, 0,79]$$

$$\theta_3 \in [-0,79, 3,93]$$

$$\theta_4 \in [-1,92, 2,97]$$

$$\theta_5 \in [-1,75, 1,75]$$

$$\theta_6 \in [-4,64, 4,64]$$

Modo de operación

El robot se mueve utilizando el teclado del ordenador. Para seleccionar la articulación a mover se utilizan las teclas numéricas 1 a 6, indicando cada una de ellas. En seguida, las teclas usadas para el movimiento son las teclas de flecha arriba y flecha abajo. Para el caso del sujetador, éste se selecciona con la tecla "g", las teclas de flechas cierran y abren el sujetador.

La posición del efector final se realiza a partir de la multiplicación de las matrices de transformación presentadas en la sección II, es decir

$$p_{sujetador} = \begin{bmatrix} {}^0_6T(1,4) \\ {}^0_6T(2,4) \\ {}^0_6T(3,4) \end{bmatrix}$$

De forma adicional se integra un GPS en el sujetador para indicar su posición en el marco global, esto con el fin de comparar los resultados al utilizar la matriz 0_6T .

A continuación se presentan capturas del funcionamiento del robot.

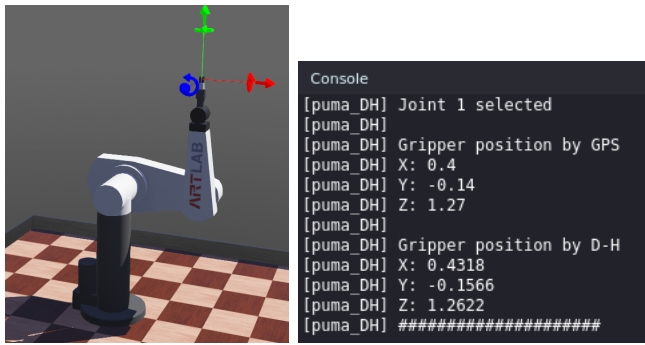


Figura 4. Primer captura de la posición del robot.

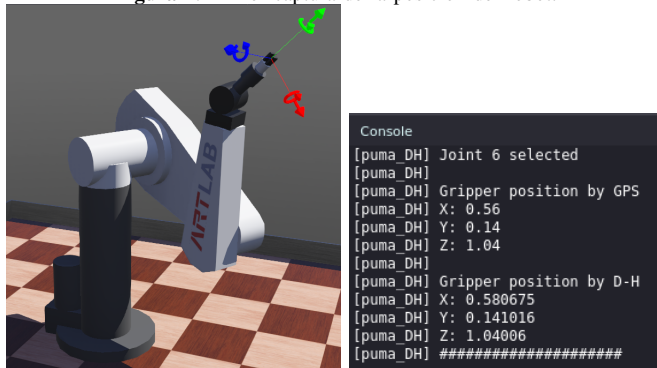


Figura 5. Segunda captura de la posición del robot.

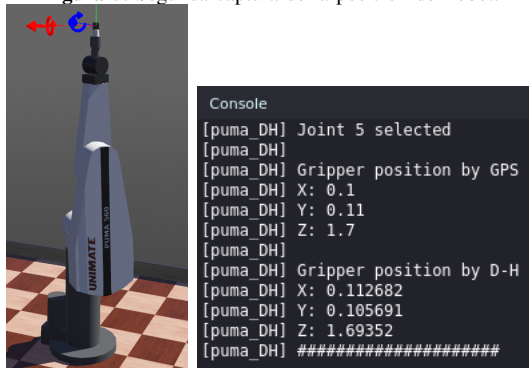


Figura 6. Tercer captura de la posición del robot.

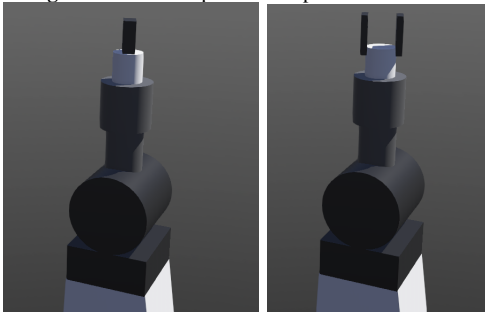


Figura 7. Posiciones cerrada y abierta del sujetador.

IV. CONCLUSIONES

La aplicación de la convención Denavit-Hartenberg simplifica de manera considerable la formulación de las matrices de transformación homogénea en los robots manipuladores, en este caso con el fin de conocer la ubicación del efector final del manipulador.

Para validar el uso de esta convención se integra un GPS al efector final para comparar los resultados. Se observa que se obtienen lecturas muy similares en ambos casos. Las

discrepancias en las mediciones se deben a la resolución del GPS simulado y a la estimación de los ángulos aplicados a cada una de las articulaciones, ya que el robot no cuenta con sensores de posición en sus articulaciones.

La operación por el teclado permite un uso interactivo del robot y la forma de seleccionar cada articulación por medio del teclado numérico, permite minimizar la cantidad de teclas a utilizar.

REFERENCIAS

- [1] Fernando Reyes Cortés, "Robótica, Control de Robots Manipuladores," Alphaomega, 2011.
- [2] John j. Craig, "Robótica", 3 ed. Person, 2006.