

CINEMÁTICA DIRECTA PARA EL ROBOT BIOLOID GP

Est. Adriana Ticonipa
Carrera de Ingeniería de Sistemas, Escuela Militar de Ingeniería
La Paz, Bolivia
7mo semestre

FORWARD KINEMATICS FOR THE ROBOT BIOLOID GP

Resumen— El presente trabajo aborda la investigación que describe el modelo matemático y el análisis de la cinemática directa del Robot Humanoide “Bioloid GP”. Con el objetivo de determinar posición que alcanzará el extremo final del robot, así como la posición que debe tener cada una de las articulaciones del robot. El modelo será desarrollado utilizando tanto las matrices de transformación homogéneas y los parámetros de Denavit-Hartenberg, verificando la eficiencia de los modelos propuestos. El efector final se encuentra en cada una de sus extremidades: pierna derecha, pierna izquierda, brazo derecho, brazo izquierdo y en la cabeza. En el presente proyecto, el efector final será la cabeza y las piernas, por lo tanto, se realizará primero la cinemática para la cabeza, luego para las piernas tomando como punto de referencia la cadera.

Palabras Claves— *Cinemática directa, Humanoide, Robótica.*

Abstract- The present work deals with the research that describes the mathematical model and the analysis of the direct kinematics of the Humanoid Robot "Bioloid GP". In order to determine the position that will reach the final end of the robot, as well as the position that each of the joints of the robot must have. The model will be developed using both homogeneous transformation matrices and the Denavit-Hartenberg parameters, verifying the efficiency of the proposed models. The end

effector is in each of its extremities: right leg, left leg, right arm, left arm and head. In the present project, the final effector will be the head and the legs, therefore, the kinematics for the head will be made first, then for the legs taking as a point of reference the hip.

Keywords- Direct kinematics, Humanoid, Robotics.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, vivimos una era tecnológica en la cual los robots humanoides, industriales, zoomórficos y otros son usados de gran manera, ya que realizan tareas de forma más exacta o más barata que los humanos, además que se emplean en trabajos peligrosos o tediosos para los humanos. El diseño de robots es el análisis cinemático, debido a que implica calcular las posiciones relativas entre el sistema de coordenadas unida a las partes móviles con respecto a un solo sistema de coordenadas, lo cual causa un aumento de la incertidumbre y el error acumulado en las transformaciones. Como consecuencia de ello se afecta la precisión en el posicionamiento y seguimiento de las trayectorias del robot.

Entonces el análisis de la cinemática se aborda de forma directa para así calcular la posición del punto final del robot como función de los valores articulares (ángulos) y de forma inversa para calcular el valor de las

coordenadas articulares como función de la posición final; este procedimiento es importante, ya que permite posicionar el robot en un punto dentro de su volumen de trabajo. La solución de la cinemática inversa de un robot industrial puede proporcionar múltiples configuraciones para una sola posición, pues esta surge de la solución de una ecuación que no es de primer orden. Es así como el sistema puede tener múltiples soluciones, siendo frecuente el uso de algoritmos que permitan aproximarse a una solución numérica.

II. ESTADO DEL ARTE

El trabajo [1] investiga el comportamiento de la cinemática de un robot bípedo y programa la trayectoria de movimiento de las articulaciones del pie, además que emplea Denavit-Hartenberg para la Cinemática Directa, sin embargo en [2], presenta el diseño mecánico de un robot humanoide autónomo NAO, y en [3] describe la arquitectura de un robot bípedo con tres grados de libertad en cada pierna, usa los parámetros de Denavit-Hartenberg para obtener la solución de cinemática directa además que su cinemática directa es confirmada por el Peter-Corke herramienta. En el presente trabajo se realizara una combinación de [1] y [3], para obtener no solamente cinemática directa por los parámetros de D-H sino también por multiplicación de matrices homogéneas.

III. MATERIALES Y METODOS

A. Bioloid GP

El robot llamado Bioloid GP (Grand Prix) [4] es un robot humanoide metálico del antiguo sistema Bioloid, más fuerte, rápido y robusto, optimizado para competiciones de robots y aprender la dinámica y cinemática directa de robots humanoides del programa educativo ROBOTIS KIDSLAB. Incluye 18 servos Dynamixel, modelo AX-12A o AX-18A dependiendo de la versión del kit. Los actuadores Dynamixel están controlados internamente por un microcontrolador

ATMega8. Tiene el controlador CM-530, este es el mismo que lleva el kit ROBOTIS PREMIUM. El software RoboPlus se puede utilizar con el programa de animación en 3D, el lenguaje de programación C. El robot Darwin OP tiene 34,6 cm de altura. A fin de complementar los criterios del análisis morfológico del robot Bioloid GP, se consideró también el Studio (Real Academia de Venecia) o, como también se conoce, El Hombre de Vitruvio, de Leonardo da Vinci [5].

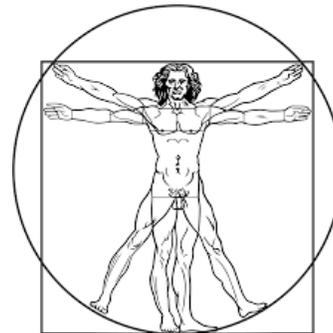


Fig. 1. Hombre de Vitruvio

B. Dimensiones establecidas para el Análisis del Robot

De acuerdo con los diseños humanoides previos, a las características del Hombre de Vitruvio tomadas como referente ideal del cuerpo humano, se establecen las dimensiones para el Bioloid.

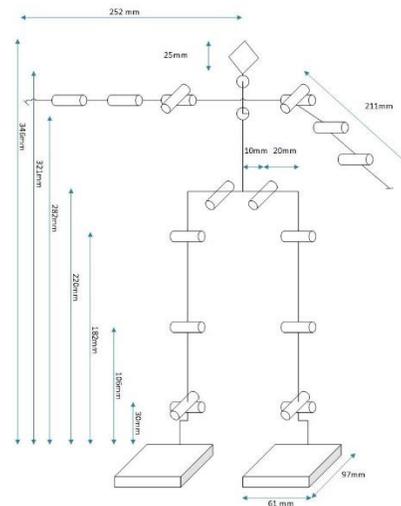


Fig. 2. Medidas del robot Bioloid GP.

C. Cinemática

La cinemática del robot consiste en estudiar su movimiento con respecto a un sistema de referencia que determina las relaciones entre la posición y orientación del extremo del robot (localización) y los valores de sus coordenadas articulares.

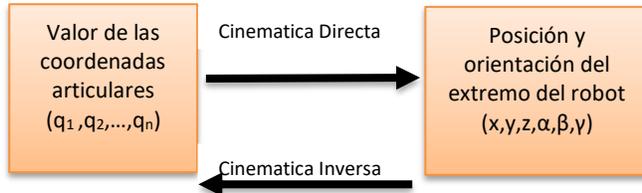


Fig. 3. La cinemática de un robot: Directa e Inversa.

D. Cinemática Directa

Se conoce como cinemática directa a los modelos matemáticos que permiten calcular la posición de los eslabones de un robot (estructura articulada) a partir de sus componentes fijos y configuración de las articulaciones. Los robots disponen de modelos cinemáticos directos que permiten en última instancia calcular la posición y orientación de determinados elementos del robot a partir de sus variables de actuación. Como métodos esta la matriz homogénea y Denavit-Hartenberg.

E. Matriz Homogénea

En general, un robot de n grados de libertad está formado por n eslabones unidos por n articulaciones, de forma que cada par articulación - eslabón constituye un grado de libertad. A cada eslabón se le puede asociar un sistema de referencia solidario a él y, utilizando las transformaciones homogéneas, es posible representar las rotaciones y traslaciones relativas entre los distintos eslabones que componen el robot. La matriz de transformación homogénea que representa la posición y orientación relativa entre los distintos sistemas asociados a dos eslabones consecutivos del robot se denomina $i-1A_i$. Del mismo modo, la matriz $0A_k$, resultante del producto de las matrices $i-1A_i$ con i desde 1 hasta k , es la que representa de forma total o parcial la cadena cinemática que forma el

robot con respecto al sistema de referencia inercial asociado a la base [6].

$$T = {}^0_nA = {}^0_1A \times \dots \times {}^{n-1}_nA \tag{1}$$

Cuando se consideran todos los grados de libertad, a la matriz 0_nA , se le denomina T, matriz de transformación que relaciona la posición y orientación del extremo final del robot respecto del sistema fijo situado en la base del mismo.

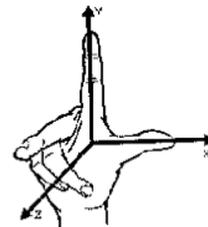


Fig. 4. Regla de la Mano Derecha

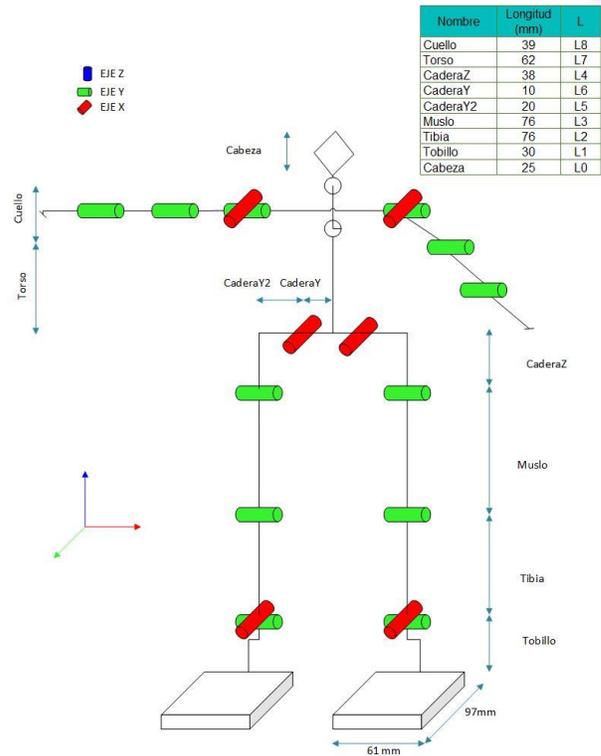


Fig. 5. Medidas para el análisis por Multiplicación de Matrices.

Las matrices que indican la posición y orientación de un espacio no es suficiente para describir un espacio. Por lo que es necesario incluir algunos conceptos adicionales. La nueva matriz incluye la perspectiva y la escala

Matriz de transformación homogénea:

$$T = \begin{pmatrix} Rotacion & Traslacion \\ Perspectiva & Escalado \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$T = \begin{pmatrix} R_{3 \times 3} & p_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & w_{1 \times 1} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$${}^A_B T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$Rot_{(x,\alpha)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{Cosa} & -\text{Sena} & 0 \\ 0 & \text{Sena} & \text{Cosa} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$Rot_{(y,\theta)} = \begin{pmatrix} \text{Cos}\theta & 0 & \text{Sen}\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{Sen}\theta & 0 & \text{Cos}\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$Rot_{(z,\theta)} = \begin{pmatrix} \text{Cos}\theta & -\text{Sen}\theta & 0 & 0 \\ \text{Sen}\theta & \text{Cos}\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Se considera la multiplicación de Traslación y Rotación para el robot Bioloid GP, se aplicó la regla de la mano derecha, de acuerdo al a figura 4 se obtiene la multiplicación matricial:

$$M = T_{z1} \times R_{x1} \times R_{y1} \times T_{z2} \times R_{y2} \times T_{z3} \times R_{y3} \times T_{z4} \times T_{y1} \times R_{x2} \times T_{y2} \times T_{z5} \quad (8)$$

F. Cinemática Directa por Denavit-Hartenberg

La convención o metodología de Denavit-Hartenberg (DH) permite establecer la ubicación de los sistemas de referencia de los eslabones en los sistemas robóticos articulados, ya sean prismáticas o de revolución, con cadenas cinemáticas abiertas. Jacques Denavit y Richard Hartenberg introdujeron esta convención en 1955 con el propósito de estandarizar la ubicación de los sistemas de referencia de los eslabones de un robot [7, 8].

La metodología de Denavit-Hartenberg define cuatro transformaciones que se aplican de forma consecutiva:

- θ_i Ángulo: Es el ángulo entre X_{i-1} y X_i girando alrededor de Z_{i-1} .

- d_i Distancia: Es la distancia desde el sistema hasta la intersección de las normales común entre O_{i-1} y O_i medida a lo largo de Z_{i-1} .

- a_i Distancia: Es la longitud de la normal común, es decir, es la distancia de Z_{i-1} a O_i medida a lo largo de X_i .

- α_i Ángulo: Es el ángulo entre Z_{i-1} y Z_i girando alrededor de X_i .



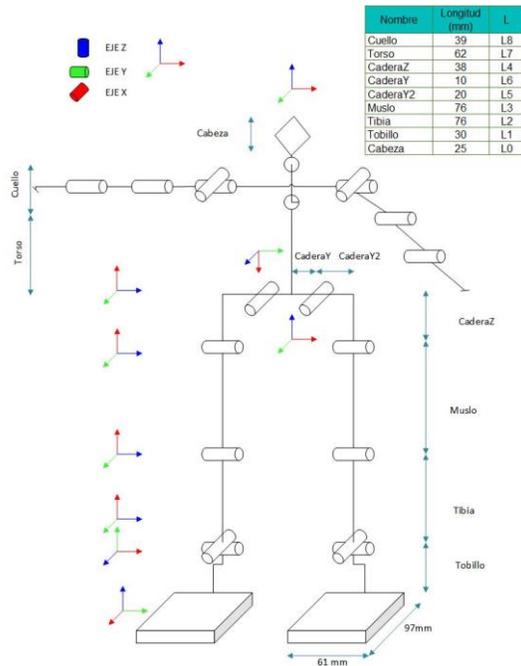


Fig. 6. Diagrama de Denavit-Hartenberg pie derecho a la cabeza

Tabla 1
Dimensiones de las uniones de los eslabones del Robot Bioid GP

Nombre	Longitud (mm)	L
Cuello	39	L8
Torso	62	L7
CaderaZ	38	L4
CaderaY	10	L6
CaderaY2	20	L5
Muslo	76	L3
Tibia	76	L2
Tobillo	30	L1
Cabeza	25	L0

Tabla 2
Parámetros de Denavit-Hartenberg del pie derecho a la cabeza

N	Θ	d	a	α
1	$\pi/2$	L1	0	$-\pi/2$
2	$\Theta_1 - \pi/2$	0	0	$\pi/2$
3	Θ_2	0	L2	0
4	Θ_3	0	L3	0
5	Θ_4	0	L4	0
6	π	-L5	0	$\pi/2$

7	$\Theta_5 + \pi/2$	0	-L6	$\pi/2$
8	0	-L7-L8-L0	0	0

Tabla 3
Parámetros de Denavit-Hartenberg de la pierna derecha-cadera del Robot Bioid GP

N	Θ	d	a	α
1	$\pi/2$	0	-L6	$\pi/2$
2	Θ_1	0	-L5	0
3	$\pi/2$	0	-L4	$\pi/2$
4	Θ_2	0	-L3	0
5	Θ_3	0	-L2	0
6	$\Theta_4 + \pi$	0	0	$-\pi/2$
7	Θ_5	0	L1	0

Tabla 4
Parámetros de Denavit-Hartenberg de la pierna izquierda-cadera del Robot Bioid GP

N	Θ	d	a	α
1	$\pi/2$	0	L6	$\pi/2$
2	Θ_1	0	L5	0
3	$\pi/2$	0	-L4	$\pi/2$
4	Θ_2	0	-L3	0
5	Θ_3	0	-L2	0
6	$\Theta_4 + \pi$	0	0	$-\pi/2$
7	Θ_5	0	L1	0

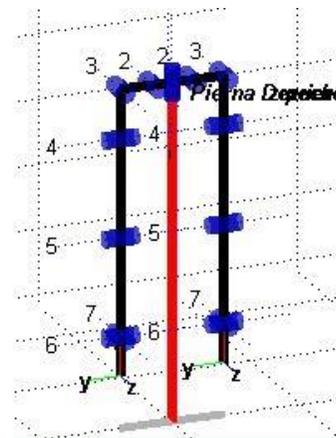


Fig. 7. Modelado y Simulación de la pierna derecha e Izquierda en Matlab.

Esta secuencia de transformaciones sobre los ejes define la siguiente matriz de transformación:

$${}^{i-1}_i A = T_{ROT(z,\theta)} \times T_{TRAS(z,d)} \times T_{TRAS(x,\alpha)} \times T_{ROT(x,\alpha)} \quad (9)$$

Una vez que se encuentra los parámetros se reemplazan en la siguiente matriz:

$${}^{i-1}_i A = \begin{pmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \sin\theta_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

En este trabajo de investigación obtendremos 8 matrices para la cabeza a la base “pie derecho”:

$$T = {}^0_1 A \times {}^1_2 A \times {}^2_3 A \times {}^3_4 A \times {}^4_5 A \times {}^5_6 A \times {}^6_7 A \times {}^7_8 A \quad (11)$$

IV. RESULTADOS

Para verificar, la metodología de Denavit-Hartenberg, se codifico en MATLAB ambos métodos propuestos en este trabajo para resolver cinemática directa del Robot Bioloid GP. Para verificar, se tomó ángulos igual a cero, consecuente se obtuvo las siguientes posiciones de los tres ejes: $P_x=0$, $P_y= 30$ y $P_z= 346$

De acuerdo al análisis cinemático de la cadera respecto a los pies en ambos métodos, para verificar, se tomó ángulos igual a cero, consecuente se obtuvo las siguientes posiciones de los tres ejes: $P_x=0$, $P_y= 30$, $P_z= 220$

Además, que se comparó los dos métodos, dando el promedio en tiempo de la ejecución del programa que se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5
Comparación métodos de Multiplicación de Matriz Homogénea y Denavit-Hartenberg

n	DH	Multiplicación Matricial
1	0,019903	0,041039
2	0,020063	0,032156
3	0,020332	0,043671
4	0,018044	0,029128
5	0,019856	0,030076
6	0,018662	0,028069
7	0,017031	0,035684
8	0,016587	0,021831
9	0,01631	0,027379
10	0,017732	0,030517
SUMA	0,184520	0,31955000
Promedio	0,018452	0,03195500
Porcentaje		-42%

V. CONCLUSIONES

Se resolvió la cinemática directa del robot humanoide Bioloid por 2 métodos: multiplicación de matrices homogéneas y la metodología de Denavit-Hartenberg. Se evidenció que la metodología de Denavit-Hartenberg que se implementó para el humanoide en MATLAB, resume un poco mejor la fórmula que la multiplicación de matrices.

REFERENCIAS

- [1] «Kinematics Analysis and Gait Planning of a Biped Robot,» pp. 1-2, En prensa.
- [2] D. GOUAILLIER, V. HUGEL, P. BLAZEVIC, P. LAFOURCADE Y B. MARNIER, «MECHATRONIC DESIGN OF NAO HUMANOID,» KOBE INTERNATIONAL CONFERENCE CENTER, p. 6, 2009.
- [3] M. Rameez y . L. Ali Khan , «Modeling and Kinematic Analysis of the Biped Robot,» International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMME) , vol. III, p. 4, 2015.

RECEPCION: 21/02/2019
 APROBACION: 28/03/2019

