

Análisis cinemático del andar de un robot hexápodo

Nazar Plata, Adolfo
 Universidad Politécnica de
 Atlacomulco
 Academia de Robótica
 anp2231100604@upatlamulco.edu.mx

Acatitlan Cabrera, Blanca Itzamara
 Universidad Politécnica de
 Atlacomulco
 Academia de Robótica
 bac2231100626@upatlamulco.edu.mx

Rosales Robles, Gerardo
 Universidad Politécnica de
 Atlacomulco
 Academia de Robótica
 gerardo_rosales@upatlamulco.edu.mx

I. Abstract— The objective of this article is to analyze the direct and inverse kinematics of a leg with 3 degrees of freedom (DOF) of a hexapod robot, and to calculate its final vectors with the Open-Source platform, in order to perform the transformation of homogeneous matrices, to be able to simulate its movement. (Abstract)

Keywords—Hexapod robot, inverse kinematics, direct kinematics.

I. INTRODUCCIÓN

Los robots hexápodos se han creado a partir de la imitación de la estructura física de insectos y artrópodos [1], esto se compone por tener 6 patas las cuales tienen 3 grados de libertad (GDL), permitiendo una movilidad en terrenos a los cuales otros robots no son capaces de llegar. Las posibles aplicaciones incluirían exploración de volcanes, búsqueda y rescate [2].

La utilización de una pata con 3 GDL permite tener un movimiento omnidireccional, además de poder crear movimientos de mayor complejidad.

Además de obtener el análisis de una sola pata es necesario definir el movimiento con las restantes en conjunto, para ello es necesario realizar un análisis cinemático directo el cual nos arroja la información necesaria para continuar un análisis cinemático inverso. El uso del control cinemático inverso nos otorga una ventaja tanto como por su simplicidad como por su aplicabilidad general [3].

II. ROBOT HEXAPODO

A. Punto de referencia

Como punto de referencia se utilizó la parte mecánica de la pata, teniendo en cuenta las medidas con las que cuenta cada eslabón, así como los grados de libertad, para esto la gran mayoría de robots hexápodos cuentan con 2, 3, o 4 (GDL), esto para poder afrontar los obstáculos de los distintos terrenos, tener una mejor estabilidad al caminar, además que al contar con pocos grados de libertad en la pata no es tan competente para generar un recorrido adecuado [1]

B. Configuración

Para el análisis de la pata es necesario conocer cada parte que esta la compone, para esto se cuenta con 3 eslabones conectados los cuales son llamados coxa, fémur y tibia [3], a los cuales se nombraron I1, I2, I3, igualmente se tomaron en cuenta la medida de la pata completa, tomando en cuenta los 3 eslabones juntos, estos mismos cuentan con ángulos los cuales se nombraron θ_1 , θ_2 y θ_3 , representando los ángulos de las articulaciones [4].

Tabla I. Dimensiones de eslabones.

Eslabón	Medida (mm)
I1 (Coxa)	65.1
I2 (Fémur)	69.13
I3 (Tibia)	84.65

C. Análisis Geométrico

Para el análisis del movimiento de la pata es necesario obtener las fórmulas las cuales permitirán determinar la cinemática directa e inversa, con las cuales se pueden proponer ángulos que serán utilizados para darle movimientos como lo son avanzar, retroceder y girar [3].

En este apartado es necesario conocer un punto de referencia en el plano, esto para obtener la posición de nuestra pata, en este tipo de métodos es necesario conocer relaciones geométricas [4].

Por consiguiente, se obtuvo el esquema donde se observa las relaciones en cuanto a la medida de los eslabones, posiciones y ángulos de interés.

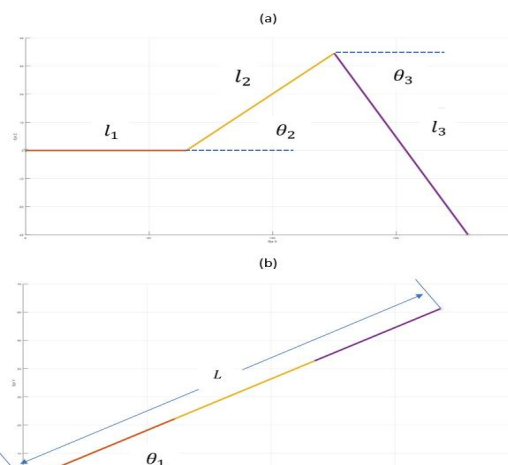


Fig.1 Análisis Geométrico Obtenido de la Pata (a) vista lateral, (b) vista superior. Fuente: Propia.

Se realizó el diseño del robot hexápodo en el software CAD, a la vez que se le número las extremidades, esto para poder indicar de mejor manera a las patas con las que se realiza el análisis:

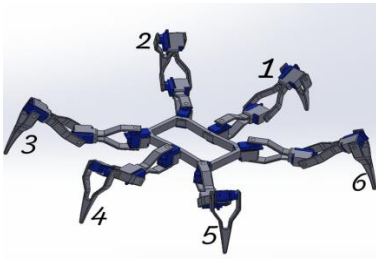


Fig.2 Ensamble de Robot Hexápodo con patas numeradas. Fuente: Propia.

D. Coordinación de la patas usando marcha de tripode

Cada movimiento de la pierna del hexápodo consiste en 4 movimientos cíclicos, potencia, elevación, columpio y contacto. La potencia es cuando la posición de las patas es muy estable, por encima de la superficie. La elevación es el estado en que el fémur y la tibia rotan en sentido contrario a las agujas del reloj, para que la pata se levante a lo largo del eje z. El columpio es el estado cuando la coxa rota en eje z, y por último el contacto es el estado en el que la pierna regresa del estado de columpio al estado del eje z=0. Estos 4 estados se repiten durante el movimiento [3].

Para avanzar, tres patas del hexápodo se moverán hacia adelante (1,5,3) mientras que las otras tres patas (4,2,6) permanecen en sus posiciones. Después de terminar el primer ciclo, comenzaran los 3 restantes ciclos. Este tipo de movimiento se denomina marcha de trípede [3].

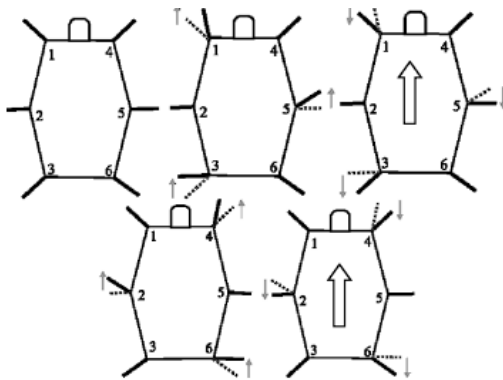


Fig.3 Secuencia de marcha de trípede. Fuente: [3].

III. DESARROLLO

A. Cinemática Directa

En la cinemática directa se cuenta con 3 articulaciones rotacionales[4] a partir de esto se determina el vector final de la pata, las ecuaciones que se obtienen para determinar la posición final (x, y, z), son los siguientes:

$$x = L \cdot \cos \theta_1 \tag{1}$$

$$y = L \cdot \sin \theta_1 \tag{2}$$

$$\tag{3}$$

$$z = l2 \cdot \sin \theta_2 - l3 \cdot \sin \theta_3$$

B. Cinemática Inversa

A partir de la cinemática directa se obtiene la inversa, la cual permite calcular las posiciones articulares [5] para esto se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \tag{4}$$

$$\theta_2 = \alpha - \beta \tag{5}$$

$$\theta_3 = 180 - \theta_2 - \Omega \tag{6}$$

IV. TRAYECTORIA APLICANDO CINEMÁTICA INVERSA

A. Graficas

Para el movimiento de la pata 1 se propone una trayectoria lineal de 120 mm para el avance en X, así como un arco de una circunferencia de 127.5 mm de radio con un ángulo de arco de 56. 18°, en el plano YZ. En la Fig.3 se observa la posición inicial de la pata 1 (línea azul) y la trayectoria a seguir, la cual consta de 3 movimientos, el primer movimiento es la media cuerda (línea negra), el segundo movimiento es el arco (línea roja) y el tercer movimiento es la cuerda completa (línea verde). El segundo y tercer movimiento se repetirán para lograr que el hexápodo se mueva de forma lineal (recordar que es la pata 1).

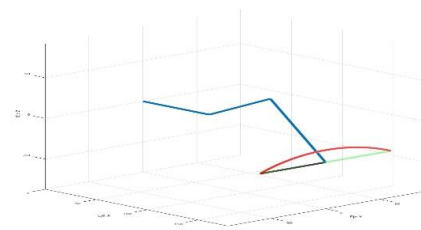


Fig.4 Trayectoria del andar de la pata 1. Fuente: Propia.

Al evaluar las ecuaciones de ambas cinemáticas para la trayectoria, se puede obtener una serie de graficas que muestran la posición angular de cada articulación, donde se puede observar 3 secciones importantes; antes de las 200 iteraciones, entre las 200 y 600 iteraciones, y entre las 600 y 900 iteraciones, donde se encuentran las posiciones articulares para los movimientos 1, 2 y 3, respectivamente (Fig. 4).

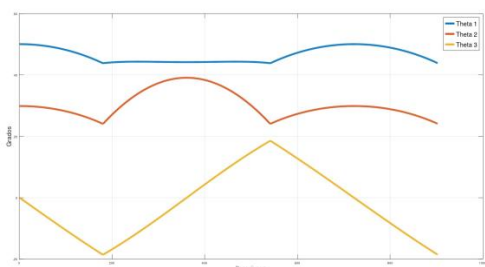


Fig.5 Posición angular que tomara cada servo, en el tiempo, de la pata. Fuente: Propia.

Estas posiciones serán de utilidad para obtener la posición que obtendrá las patas del robot hexápodo, y esto a la vez permitirá aplicarlo en las matrices, que indicará el movimiento de la estructura completa del robot.[6]

B. Matrices de Transformación Homogénea:

Las matrices de transformaciones describen la postura del sistema de coordenadas de la pata en relación con los sistemas de las 5 patas restantes [1]. Para el análisis se implementó la siguiente matriz:

$$T = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

En el caso del análisis se realizó una matriz (8), la cual se obtuvo a partir de la matriz (7), esta con una rotación de $Z=30^\circ$ y en 54 mm en traslación, obteniendo la siguiente matriz:

$$\begin{bmatrix} C30 & -S30 & 0 & 0 \\ S30 & C30 & 0 & 54 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

A partir de estos datos se aplicó la matriz a las demás patas tomando en cuenta los grados de separación que se tiene en el eje Z, así como sus medidas de traslación en los ejes X, Y, los cuales se presentan en la Tabla 2, para esto se tomó en cuenta la numeración de la (Fig.2):

Tabla II. Tabla de rotaciones y traslación para matrices

No. de Pata	Rotación en Z	Traslación
1		Pivote
2	30°	54 mm en y
3	150°	54 mm en y, -93 en x
4	180°	-93 en x
5	210°	-54 mm en y, -93 en x
6	330°	-54 mm en y

Se presentan a continuación diferentes vistas de las trayectorias de la pata 2 respecto a la pata 1:

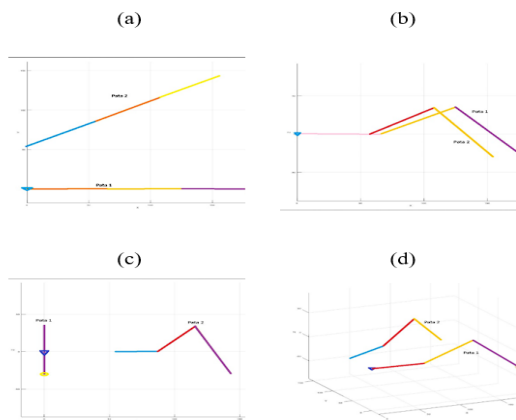


Fig.6 Vistas de la Pata 2 (a) Plano YX, (b) Plano ZX, (c) Plano ZY, (d) Sistema XYZ. Fuente: Propia.

V. RESULTADOS

Una vez obtenida la cinemática inversa y evaluar la trayectoria propuesta de la pata 1 se obtuvieron las posiciones articulares, mediante un script realizado en un software de matemáticas de licencia abierta. Posteriormente se obtuvieron las matrices transformación homogénea de las restantes patas a partir de la matriz (7), así mismo se orientó la trayectoria a cada miembro del hexápodo. De forma subsecuente, para obtener la posición articular de cada pata se obtuvieron las inversas de las matrices de transformación homogénea, rotando y trasladando las trayectorias de las diversas patas al sistema de referencia de la pata 1, con el objetivo de utilizar la cinemática inversa del pivote.

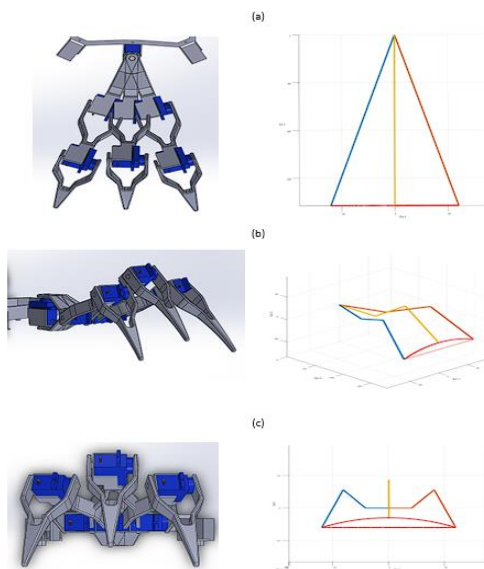


Fig.7 Vistas de la trayectoria de las patas (a) Vista superior, (b) Vista isométrica, (c) Vista frontal. Fuente: Propia.

VI. CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo se determinó que la utilización de la cinemática directa es de gran ayuda para determinar el vector final de la pata, así mismo es de utilidad para calcular la cinemática inversa que proporciona la posición angular de cada pata, y como el análisis geométrico es el más pertinente para una pata con 3 (GDL). Estas técnicas ayudaron obtener gráficamente la posición en la que cada pata deberá de posicionarse para realizar el movimiento, y por último la aplicación de matrices homogéneas que fue de gran utilidad para poder analizar el movimiento de las patas restantes, así como el movimiento del cuerpo entero.

REFERENCES

- [1] G. Jianhua, "Design and Kinematic Simulation for Six-DOF Leg Mechanism of Hexapod Robot", en *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics December 17 - 20, 2006, Kunming, China, 2006*, pp. 625–629.
- [2] B. Jin, C. Chen, W. Li, y X. Li, "Design and configuration of a hexapod walking robot", en *Proceedings - 3rd International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA 2011, 2011*, pp. 863–866. doi: 10.1109/ICMTMA.2011.216.
- [3] K. Priandan y A. Buono, "Hexapod Leg Coordination using Simple Geometrical Tripod-Gait and Inverse Kinematics Approach", en *2017 IEEE International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS): Mecure Convention Ancol, Jakarta, Indonesia, October 28th-29th, 2017, 2017*, pp. 35–40.
- [4] M. Nitulescu, M. Ivanescu, V. Dong, H. Nguyen, y S. Manoiu -Olaru, "Designing the Legs of a Hexapod Robot", en *2016 20th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), October 13-15, Sinaia, Romania, 2016*, pp. 119–124. doi: 10.0/Linux-x86_64.
- [5] R. Powell y D. Khudher, "Quadratic Programming for Inverse Kinematics Control of a Hexapod Robot with Inequality Constraints", en *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Robotics: Current Trends and Future Challenges (RCTFC) : Robotics for Human Development : 19 & 20 December 2016, SASTRA University, Thanjavur, Tamil Nadu-613 401, India, 2016*.
- [6] M. Imran Uddin, M. Shahriar Alamgir, J. Chakrabarty, M. Iqbal Hossain, y M. Arif Abdulla Samy, "Multitasking Spider Hexapod Robot", en *2019 IEEE International Conference on Robotics, Automation, Artificial-Intelligence and Internet-of-Things, RAAICON 2019, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., nov. 2019*, pp. 135–140. doi: 10.1109/RAAICON48939.2019.58.