

Inverse Kinematic Model Gradient Method of a 4 g.d.l. manipulator robot

Modelo Cinemático Inverso Método Gradiente de un robot manipulador de 4 g.d.l

Autores:

Mendoza-Salazar, María José
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
Riobamba - Ecuador
  mmendoza@espoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8870-0743>

Morales-Gordon, Cecilia Beatriz
ESCUELA DE EDUCACIÓN BÁSICA 12 DE OCTUBRE
Riobamba - Ecuador
  eciliabeatrizmorales@yahoo.es
<https://orcid.org/0009-0008-4934-3457>

Fechas de recepción: 03-ABR-2024 aceptación: 20-MAY-2024 publicación: 15-JUN-2024

 <https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>
<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

Este documento presenta la obtención del modelo cinemático inverso con el método Gradiente de un robot manipulador de 4 grados de libertad (g.d.l.), se utiliza la metodología ágil para la construcción del algoritmo de simulación. Se presenta las gráficas del movimiento con la trayectoria predefinida dada para la validación del algoritmo. Los resultados muestran que el efector final del manipulador ubica las posiciones en el orden x, z, y con 200, 200, y 280 iteraciones respectivamente, los errores del efector final antes de alcanzar la posición inicial presentan resultados parecidos a los del desplazamiento.

Palabras clave: Cinemática Inversa; Método Gradiente; Modelado; Robot Manipulador



Abstract

This document presents the obtaining of the inverse kinematic model with the Gradient method of a manipulator robot with 4 degrees of freedom (g.d.l.), the agile methodology is used for the construction of the simulation algorithm. The graphs of the movement with the predefined trajectory given for the validation of the algorithm are presented. The results show that the end-effector of the manipulator locates the positions in the order x,z,y with 200, 200, and 280 iterations respectively, the errors of the end-effector before reaching the initial position present results similar to those of the displacement.

Keywords: Inverse Kinematics; Gradient Method; Modelling; Robot Manipulator



Introducción

La morfología de un robot manipulador es muy parecida a la de un brazo con componentes como la base, el brazo, antebrazo y el efector final. Siendo este último el que permite manipular un objeto, por tal razón debe seguir una trayectoria planificada. Gracias a sus aplicaciones son la categoría de robot que más se utilizan en la industria, por lo que los estudios que se presenten entorno a ellos son de vital importancia para sus mejoras (Jazar, 2010).

La cinemática de un manipulador describe el movimiento de sus articulaciones sin tener en cuenta las fuerzas o momentos que actúan sobre ellas. De ahí que su análisis y simulación es importante para predecir el comportamiento futuro del manipulador. El análisis cinemático permite identificar la posición, velocidad y aceleración de todas las articulaciones del manipulador, estas se calculan en relación con un marco de referencia fijo (Mendoza & et. al., 2023).

El modelo cinemático relaciona la posición y orientación del efector final y la posición espacial de cada articulación. El desplazamiento se puede modelar de dos formas, el primero con cinemática directa donde se establece la posición y orientación del efector final en función de las coordenadas y orientaciones iniciales; el segundo con cinemática inversa que partiendo de una posición y orientación conocida del efector final puede regresar a la posición y orientación inicial del efector (Páez & et. al., 2021).

A. MODELOS CINEMÁTICOS

I. Modelo Cinemático Directo

En la Fig. 1 se muestra la configuración del manipulador de 4 g.d.l. Las ecuaciones geométricas de un robot manipulador describen la posición y orientación del efector final en función de las articulaciones, con $h(t)$ como la posición del punto de interés (efector final) ().

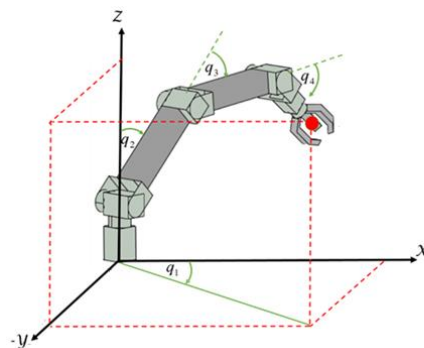


Fig. 1. Brazo Robótico Antropomórfico 4 g.d.l.

Esta representación geométrica a través de la cinemática directa del robot se representa como (1):

$$\begin{cases} h_x = l_2 S_2 C_1 + l_3 S_{23} C_1 + l_4 S_{234} C_1 \\ h_y = l_2 S_2 S_1 + l_3 S_{23} S_1 + l_4 S_{234} S_1 \\ h_z = l_1 + l_2 C_2 + l_3 C_{23} + l_4 C_{234} \end{cases} \quad (1)$$

donde, $C_1 = \cos(q_1)$, $C_2 = \cos(q_2)$, $C_{23} = \cos(q_2 + q_3)$, $C_{234} = \cos(q_2 + q_3 + q_4)$, $S_1 = \sin(q_1)$, $S_2 = \sin(q_2)$, $S_{23} = \sin(q_2 + q_3)$, $S_{234} = \sin(q_2 + q_3 + q_4)$; las longitudes de cada eslabón rígido del manipulador son l_1, l_2, l_3, l_4 ; y q_1, q_2, q_3, q_4 son los ángulos de giro para cada grado de libertad del manipulador. Por lo tanto, la variación del movimiento con respecto al tiempo del modelo cinemático del manipulador se define de forma matricial como

(2):

$$\begin{cases} \dot{h}_x = -(l_2 S_1 C_2 + l_3 S_1 C_{23} + l_4 S_1 C_{234}) \dot{q}_1 + \dots \\ \quad (l_2 C_1 C_2 + l_3 C_1 C_{23} + l_4 C_1 C_{234}) \dot{q}_2 + \dots \\ \quad (l_3 C_1 C_{23} + l_4 C_1 C_{234}) \dot{q}_3 + (l_4 C_1 C_{234}) \dot{q}_4 \\ \dot{h}_y = (l_2 C_1 C_2 + l_3 C_1 C_{23} + l_4 C_1 C_{234}) \dot{q}_1 + \dots \\ \quad (l_2 S_1 C_2 + l_3 S_1 C_{23} + l_4 S_1 C_{234}) \dot{q}_2 + \dots \\ \quad (l_3 S_1 C_{23} + l_4 S_1 C_{234}) \dot{q}_3 + (l_4 S_1 C_{234}) \dot{q}_4 \\ \dot{h}_z = -(l_2 S_2 + l_3 S_{23} + l_4 S_{234}) \dot{q}_2 - \dots \\ \quad (l_3 S_{23} + l_4 S_{234}) \dot{q}_3 - (l_4 S_{234}) \dot{q}_4 \end{cases} \quad (2)$$

Al tener mayor número de variables que son necesarias para describir una tarea específica, que de grados de movilidad del manipulador le dan una característica de redundancia.

II. Modelo Cinemático Inverso con el Método Gradiente

Al partir de la posición del efector final encontrada con la cinemática directa como la posición inicial del efector final para regresar a la posición inicial del manipulador cinemática inversa se plantea un sistema de ecuaciones que por sus características es necesario utilizar un método numérico para solucionarlo en este documento se utilizará el método Gradiente (Lechuca-Gutiérrez & Domínguez-Ramírez, 2022).

El método Gradiente es utilizado para obtener el mínimo de una función, considerando el error se puede utilizar para obtener la cinemática inversa. El objetivo es encontrar las configuraciones deseadas de la posición y orientación del efector final.

Etapas 0: se minimiza el error con la utilización de las fórmulas (3) y (4).

$$\begin{aligned} H(q) &= \frac{1}{2} \|r_d - f_r(q)\|^2 \\ &= \frac{1}{2} (r_d - f_r(q))^T (r_d - f_r(q)) \end{aligned} \quad (3)$$

$$q^{k+1} = q^k - \alpha \nabla_q H(q^k) \quad (4)$$

Etapas 1: Calcular $\nabla_q H(q)$

$$\nabla_q H(q) = \frac{\partial H(q)}{(\partial q)^T}$$



$$= -(r_d - f_r(q))^T \frac{\partial f_r(q)}{(\partial q)^T}$$

$$= -J_r^T(q)(r_d - f_r(q)) \quad (5)$$

Al generalizar la ecuación del modelo se obtiene (6)

$$q^{k+1} = q^k - \alpha J_r^T(q^k)(r_d - f_r(q^k)) \quad (6)$$

Etapla 2: Calcular el tamaño del paso escalar con la finalidad de disminuir la función de error en cada iteración demasiado grande, estos valores pueden llevar al método a perder el mínimo, puesto que si el tamaño es demasiado pequeño, la convergencia es extremadamente lenta.

Al utilizar la matriz Jacobiana transpuesta en lugar de la pseudoinversa el método es computacionalmente más simple. Puede que no converja en una solución, pero nunca diverge. La evolución en tiempo discreto del esquema continuo se representa en (7).

$$q^{k+1} = q^k - \Delta T J_r^T(q^k)(r_d - f_r(q^k)) \quad (6)$$

donde, $\alpha = \Delta T$

B. SIMULACIÓN

Las simulaciones permiten ejemplificar un escenario real presentando condiciones similares a las reales, pero con variables controladas, para ello es necesario plantear el modelo que reúne las características esenciales del sistema real, para posteriormente pasarlo al lenguaje de programación del software a utilizar (Velásquez, 2014).

En la Fig. 2 se presenta la metodología ágil utilizada para la simulación.



Fig. 2. Fases de la Metodología ágil

El programa de simulación del modelo cinemático con el método Gradiente está estructura algorítmicamente de la siguiente forma.

Condiciones Iniciales:

- Orientaciones iniciales del robot manipulador q_1, q_2, q_3, q_4
- Parámetros físicos del robot manipulador l_1, l_2, l_3, l_4
- Posición deseada del Extremo Operativo del Robot Manipulador h_{xd}, h_{yd}, h_{zd}



- Error permitido del método epsilon
- Número máximo de iteraciones max_iter
- Velocidad de convergencia alpha

Estructura de repetición:

- Repetir el proceso de control hasta que se cumpla el número de iteraciones for k=1:max_iter
- Matriz Jacobiana J
- Modelo Cinemático hx, hy, hz
- Error de Aproximación: hxe, hye, hze
- Algoritmo de control, Método Gradiente: $q_c = q + \alpha * J' * h_e$; q1, q2, q3, q4
- Condición de término

Gráficas Resultantes:

- Animación del movimiento
- Valores reales vs Valores Deseados respecto a
- Desplazamientos
- Errores de Control

Resultados

A. RESULTADOS

En la Fig. 3 se puede observar el movimiento realizado para alcanzar la posición deseada utilizando el modelo cinemático inverso con el método Gradiente.

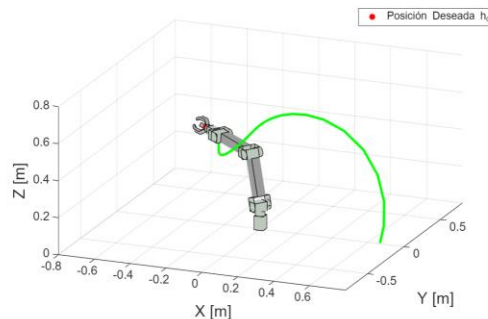


Fig. 3. Control de movimiento del manipulador

En la Fig. 4 y 5 se presentan los desplazamientos en los ejes x, y, z y angulares respectivamente.

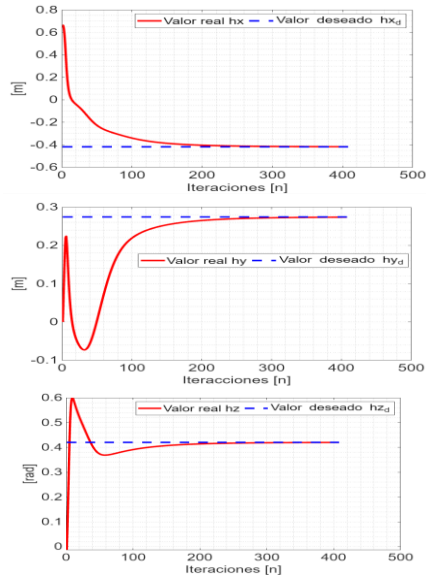


Fig. 4. Desplazamientos por ejes x, y, z

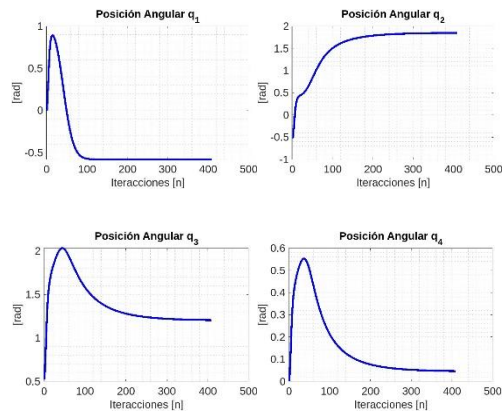


Fig. 5. Desplazamientos angulares

En la Tabla 1. Se muestra un resumen del número de iteraciones efectuadas antes de alcanzar la posición y orientación deseada.

Tabla 1. Desplazamientos

Ejes de desplazamiento	Número de Iteraciones antes de alcanzar la posición deseada
x	200
y	260

z	200
q_1	100
q_2	200
q_3	280
q_4	280

Fuente: Simulación del modelo

Los errores del efector final antes de alcanzar la trayectoria deseada se muestran en la Fig. 6., se muestra que el efector final alcanza la trayectoria aproximadamente en 200 iteraciones.

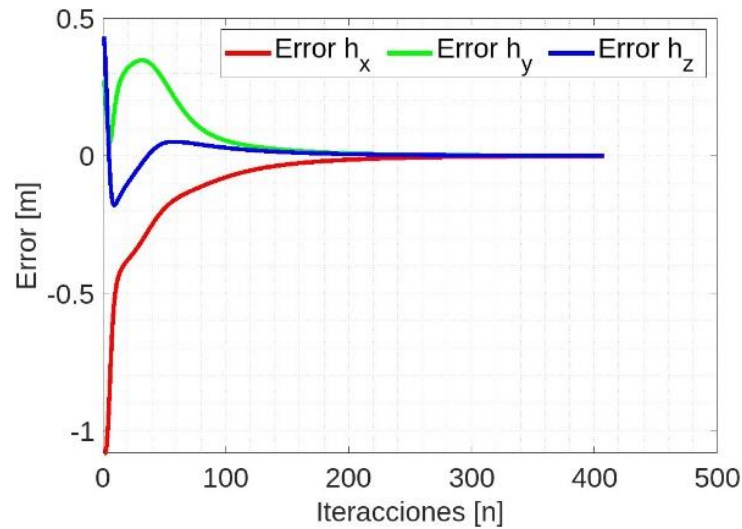


Fig. 6. Errores del efector final

Conclusiones

Se obtiene el modelo cinemático inverso con el método Gradiente para posteriormente traducirlo al lenguaje de programación para su simulación.

El método Gradiente como solución al sistema de ecuaciones que se presenta en el modelo cinemático inverso del manipulador de 4 g.d.l. siempre va a converger gracias a que no se presenta una matriz singular.

A pesar que siempre el sistema converge, tarda mucho en hacerlo.

Cuando la posición está fuera del espacio de trabajo, el manipulador realiza movimientos bruscos para alcanzarla

Referencias bibliográficas

Lechuca-Gutiérrez, L. R., & Domínguez-Ramírez, O. A. (2022). Cinematica inversa basada en gradiente descendente cuaterniónico para cadenas'. Padi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, 10(Especial5), 131-139.

Mendoza, M. Davalos, M. Palacios, M. (2023). Modeling, Simulation and Control of An Omnidirectional Mobile Manipulator Robot. [International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering], 11(5s), 229 – 237. Retrieved from <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/2770>

Páez Ramírez, D., Romero Camacho, J. P., & Guarnizo Marin, J. G. (2021). UR3 modelo cinemático inverso. Bogotá D.C. Universidad Santo Tomas. Grupo de Estudio y Desarrollo en Robótica GED.

Reza, N. & Jazar. (2010). Theory of applied robotics: kinematics, dynamics, and control. Springer.

Velásquez Costa, J. A. (2014). Software para el modelamiento, simulación y programación de aplicaciones robotizadas. Industrial Data, 12(1), 032. <https://doi.org/10.15381/idata.v12i1.6082>



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior

