

Cinemática directa utilizando Denavit-Hartenberg y generación de trayectorias para el robot FANUC LR-Mate200iB/5P

Efraín Ramírez Cardona
Miguel Eduardo González Elías
Víctor Martín Hernández Dávila
Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica
Universidad Autónoma de Zacatecas
E-mail: efra-05@hotmail.com

Resumen

En este proyecto se obtuvo el modelo cinemático directo del robot FANUC LR-Mate200iB/5P. El sistema cuenta con 6 grados de libertad. Las aplicaciones de este dispositivo se encuentran en: pintura, recubrimiento, colado y sellado, ensamblaje, moldeo plástico, entre otras. El movimiento del dispositivo se basa en la solución de la cinemática del robot así como de su modelo dinámico. El proyecto comprende la solución de la cinemática directa, para ello se emplea la solución por medio de la representación de Denavit-Hartenberg (D-H). La representación D-H tiene el objetivo de obtener la posición y orientación del extremo final del robot teniendo que tomar en cuenta únicamente 4 parámetros implícitos en la estructura del mismo. Como información de entrada se tienen las coordenadas articulares que son los ángulos que giran todos y cada uno de las articulaciones y como salida se tiene la posición y orientación de la herramienta. En el trabajo se analiza la estructura mecánica del robot desde el punto de vista cinemático del sistema para obtener un modelo de la planta y poder reproducirlo en un ambiente de simulación como lo es el MatLab y el VisSim.

Palabras clave: Cinemática directa, grado de libertad, coordenadas articulares.

Introducción

Los robots son mecanismos especializados diseñados y construidos por el ser humano. Estos tienen la finalidad de realizar actividades similares a las que efectúan varias partes del cuerpo humano. Su aplicación se ubica en actividades repetitivas, actividades que requieren de gran esfuerzo o en actividades de elevada precisión. Un claro ejemplo de la robotización es la empresa automotriz debido a su gran cantidad de demanda de artículos así como la calidad de estos, de igual manera para proteger la salud de sus trabajadores en pasos que se llevan a cabo a la hora de la producción [1].

Un Manipulador Robótico (MR) consiste de una serie de cuerpos rígidos conectados entre sí por uniones (de revolución o prismáticas). Esto supone de antemano que cada unión provee un grado de movilidad y que además corresponde a una variable de unión o articulación. El MR forma una estructura llamada Cadena Cinemática Abierta (CCA) en la cual uno de sus extremos está sujeto a la base, y el otro extremo a la herramienta; esto permite la manipulación de objetos en el espacio.

El presente trabajo se enfoca en los resultados obtenidos del estudio de la cinemática directa de un robot industrial producido por FANUC, modelo LR-Mate200ib/5P [5] utilizando la representación de Denavit-Hartenberg con la cual se puede obtener la posición y orientación del extremo final del robot (herramienta o mano) teniendo un sistema de coordenadas fijo en la base del robot (OXYZ), y asignándole a cada eslabón su propio sistema de coordenado (OUVW) o también llamado sistema de coordenadas ligado al cuerpo, y empleando 4 parámetros que describen completamente la geometría del robot, para finalmente poder obtener una matriz de transformación homogénea para cada grado de libertad en la cual ya estarán incluidos todos estos parámetros [2].

Como el robot es de arquitectura cerrada no se puede tener acceso a su control y se tiene que limitar a programarle trayectorias desde el teclado con un lenguaje propio del fabricante es por eso que el objetivo es conocer la cinemática directa

para poder saber como es el control del robot aunque no haya sido éste el algoritmo utilizado por el fabricante para el calculo del modelo cinemática directo, pero de alguna forma se tendrá el mismo comportamiento en cuanto a posición y orientación del extremo final.

Para poder comprobar si los resultados de cinemática directa fueron los óptimos, se programó ésta tanto en el VisSim como en el MatLab y se dieron valores de coordenadas articulares conocidos, es decir, valores para los cuales se conocen las posiciones fácilmente únicamente con ver la geometría del robot. Finalmente se programaron trayectorias de movimiento que pueda seguir el robot, estas trayectorias están compuestas tanto por líneas curvas y rectas, y al igual que las matrices de transformación homogénea de Denavit-Hartenberg fueron programadas en el VisSim una vez que se calcularon.

Objetivos

- Obtener el modelo cinemático directo del robot Fanuc LRMate200iB/5P utilizando la representación de Denavit-Hartenberg.
- Diseño de trayectorias compuestas por líneas curvas y rectas que pueda seguir el robot.
- Generar material de apoyo para el control del robot industrial del laboratorio.

Metodología

Como el robot es de 6 grados de libertad resultaría muy complicado obtener la cinemática directa por medio del método geométrico, es decir haciendo proyecciones, es por eso que lo primero que se hizo fue revisar en la literatura la teoría de Denavit-Hartenberg la cual permite obtener el cinemático directo con mayor facilidad para este tipo de robots. Según Denavit-Hartenberg se puede hacer este análisis haciendo uso únicamente de 4 parámetros implícitos en la geometría del robot, estos parámetros son necesarios en la matriz de transformación homogénea la cual representa el movimiento de un eslabón, por lo tanto para representar el

movimiento de las 6 articulaciones serán necesarias 6 matrices de transformación homogénea [4]. La matriz de transformación homogénea propuesta por Denavit-Hartenberg para la solución de este modelo es la que se muestra a continuación:

$$A_i^{i-1}(q_i) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i)\sin(\alpha_i) & a_i \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i)\sin(\alpha_i) & a_i \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

De esta matriz a_i representa lo largo del eslabón al que se este haciendo referencia en el subíndice i , d_i es la distancia entre articulaciones, es decir, es cuando el eslabón no esta unido exactamente a la base del motor, existe una distancia representada por este parámetro, si este perno o distancia está desfasado un determinado ángulo este se representa mediante α_i , finalmente θ_i representa el ángulo de giro de la articulación, es decir, el ángulo que gira el motor del eslabón i .

A continuación se revisaron las hojas de datos del robot para poder obtener las medidas de cada una de las articulaciones así como los rangos de movimiento y la forma en que gira cada uno de los eslabones, para esto fue muy útil el programa de simulación Roboguide, ya que éste permite mover cada articulación de manera simulada de forma que se pueden obtener los rangos de movimiento al igual que el sentido de giro para cada uno de ellos. Con esto se obtuvieron los parámetros Denavit-Hartenberg [4].

Con estos parámetros y sustituyéndolos para cada uno de los eslabones en la matriz de transformación homogénea anterior se podrá conocer la posición y orientación para cada uno de las 6 articulaciones con respecto de la anterior [3].

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & \sin(\theta_1) & a_1 \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & 0 & -\cos(\theta_1) & a_1 \sin(\theta_1) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_2^1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & a_2 \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & a_2 \sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & 0 & \sin(\theta_3) & a_3 \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & 0 & -\cos(\theta_3) & a_3 \sin(\theta_3) \\ 0 & 1 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_4^3 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4) & -\sin(\theta_4) & 0 & a_4 \cos(\theta_4) \\ \sin(\theta_4) & \cos(\theta_4) & 0 & a_4 \sin(\theta_4) \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_5^4 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_5) & 0 & \sin(\theta_5) & a_5 \cos(\theta_5) \\ \sin(\theta_5) & 0 & -\cos(\theta_5) & a_5 \sin(\theta_5) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_6^5 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_6) & 0 & \sin(\theta_6) & 0 \\ \sin(\theta_6) & 0 & -\cos(\theta_6) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La teoría de D-H sugiere que una vez que se tienen estas matrices la forma de obtener la cinemática directa para el total de los grados de libertad basta únicamente con hacer una post-multiplicación entre estas 6 matrices; es decir; multiplicar la primera por la segunda y al resultado de esto por la tercera y así sucesivamente hasta hacerlo para las 6 matrices [3].

$$T_n^0(q_i) = A_1^0 * A_2^1 * A_3^2 * A_4^3 * A_5^4 * A_6^5 = \prod_{i=1}^n A_i^{i-1}$$

Las pruebas de funcionamiento de la cinemática directa fueron hechas con el uso de los programas VisSim, MATLAB y el Roboguide que es un programa que simula exactamente al robot de igual forma se utilizó el mismo robot el cual contiene su propio lenguaje de programación, con ellos se determinaron las posiciones para valores de entrada, estos valores de entrada son las coordenadas articulares o los ángulos de giro para cada una de las articulaciones, es decir con los valores de posición que nos arrojan tanto el Roboguide como el teclado del robot (Teach Pendant) se compararon con los valores que nos dan las ecuaciones de cinemática directa programadas en VisSim y MatLab para poder comprobar éstas fueron correctas [6].

Después de haber realizado las pruebas para determinados puntos finalmente se hicieron los cálculos para trayectorias continuas en las cuales están incluidas tanto

líneas como círculos, estas trayectorias también fueron programadas de forma que se pueda comprobar que fueron efectivamente dibujadas.

Resultados

Los resultados de la cinemática directa para los primeros 3 grados de libertad del robot utilizando Denavit-Hartenberg fueron los siguientes:

$$T_3^0 \begin{bmatrix} c_1(c_2 c_3 - s_2 s_3) & s_1 & c_1(c_2 s_3 + s_2 c_3) & a_1 c_1 + a_2 c_1 c_2 + a_3 c_1(c_2 c_3 - s_2 s_3) \\ s_1(c_2 c_3 - s_2 s_3) & -c_1 & s_1(c_2 s_3 + s_2 c_3) & a_1 s_1 + a_2 s_1 c_2 + a_3 s_1(c_2 c_3 - s_2 s_3) \\ c_2 s_3 + s_2 c_3 & 0 & s_2 s_3 - c_2 c_3 & a_2 s_2 + a_3(c_2 s_3 + s_2 c_3) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Para poder obtener la cinemática directa del total de los grados de libertad se utilizaron los programas de simulación mencionados con sus operaciones matriciales ya que la solución para el total de los eslabones da como resultado una expresión mucho más compleja que la mostrada para los primeros 3.

Con la programación de la cinemática directa se pudo comprobar que los resultados que da la teoría de Denavit-Hartenberg en VisSim y MatLab fueron similares a los que da el Roboguide, aunque tanto en éste como en el robot al mover el segundo eslabón se modifica también el ángulo de giro del tercero dependiendo de hacia donde esté orientada la herramienta, es decir, el ángulo de giro del tercer eslabón se va corrigiendo de tal forma que no se pierda ésta.

Cabe mencionar que se está trabajando aún con las trayectorias de movimiento así como también con la programación de la animación que pueda representar el movimiento de cada uno de los eslabones del robot y la programación de las mismas trayectorias de movimiento.

Al obtener los resultados de posición así como los de seguimiento de trayectorias esperados se puede decir que la solución de la cinemática directa fue correcta.

Conclusiones

La representación matricial de Denavit-Hartenberg permite obtener la cinemática directa de una manera más fácil para robots que tienen más de 2 grados de libertad, que si se tratara de obtener por medio del método geométrico.

El programa de simulación Roboguide además de ser útil para poder obtener los parámetros de D-H permite ver exactamente de manera simulada los movimientos de todos y cada uno de los eslabones del robot. Los resultados obtenidos permitirán generar las herramientas matemáticas para poder simular el robot FANUC LR-Mate200iB/5P en distintos escenarios de control.

Bibliografía

- [1] Universidad de Guadalajara, Programa Interactivo tutorial sobre robótica, capítulo 2. <http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/>
- [2] Miguel Hernández, "Robótica industrial", Tema 4 Cinemática del robot. <http://isa.umh.es/asignaturas/rvc/tema4.pdf>
- [3] Miguel Torres Torriti, Manipuladores robóticos, Pontificia Universidad Autónoma de Chile, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica. http://www2.ing.puc.cl/iee2682/biblio/IEE2682_Clase_Forward_Kinematics_050627.pdf
- [4] Modeling and control of Robot Manipulators: Lorenzo Sciavico, Bruno Siciliano, (1996), Ed. Mc. Graw Hill
- [5] FANUC Robotics UK, "FANUC Robotics" <http://www.fanucrobotics.es/products/robots/detail.asp?id=74>
- [6] VisSim user's Guide version 5.0: Visual Solutions, (2002), Ed. Visual Solutions.