

GENERACIÓN DE TRAYECTORIA PARA UN ROBOT ANTROPOMORFO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD

Muñoz, Martín Alejandro

Laboratorio de Animatrónica y Control Dinámico de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, munoz.martinalejandro@gmail.com

Narváez, Pablo Rodrigo

Laboratorio de Animatrónica y Control Dinámico de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, efeparo@yahoo.com.ar

Pailos, Hugo Nicolás

Laboratorio de Animatrónica y Control Dinámico- Asignatura: Robótica y Animatrónica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, hpailos@gmail.com

* Grupo de trabajo de la UNC- Fac. Cs. Exactas Físicas y Naturales, subsidiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica (SCyT) en el Proyecto: La Simulación de Robots- Control fraccionario en modo deslizante. Director Dr. Ing. **Sauchelli, Victor Hugo (*3)**

(*3) *Asignatura Sistemas de Control II, Director del Departamento de Electrónica - Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, vsauch@com.uncor.edu*

Resumen

El presente trabajo final propone la implementación de la Generación de Trayectoria sobre un Brazo Robot de cinco grados de libertad con el objeto de obtener movimientos suaves y precisos en el control del movimiento del mismo.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es generar la trayectoria de un brazo robot de cinco grados de libertad (figura 2). En el esquema representado por la figura 1, nos muestra tres grandes bloques fundamentales para la generación de trayectoria. En el esquema general de este sistema (figura 1) se aprecian los tres módulos de operación: El Modulo *PC*, el modulo *Controlador del Brazo Robot* y el

modulo *Brazo Robot*, con sus respectivas interacciones de señales entre si.

La *PC* transmite las condiciones iniciales, tales como posición inicial, final y el tiempo de trayectoria, hacia el Controlador.

El Controlador del Brazo Robot procesa la información proveniente de la *PC* y toma decisiones correspondientes en función de tal información para la planificación de la trayectoria.

El Brazo Robot se mueve de acuerdo a las señales procedentes del Controlador.

teniendo en cuenta que los mismos deben estar dentro del espacio de trabajo del brazo.

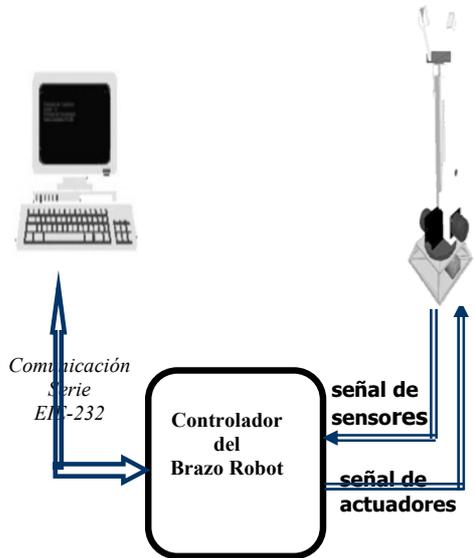


Figura 1 Diagrama General del Sistema

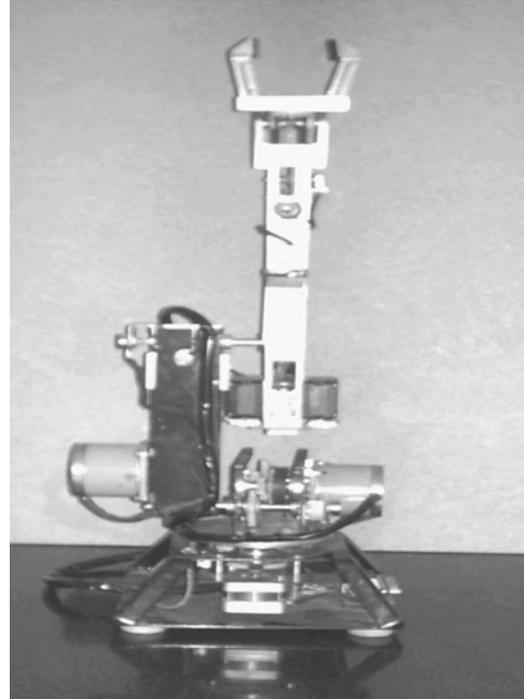


Figura 2 Brazo robot MACII

Una visión mas detallada del sistema se presenta en el siguiente apartado. En esta parte introductoria solo se pretende expresar una idea general del funcionamiento.

Es importante destacar que la generación de trayectoria se realiza sobre un Brazo Robot en particular. Como se observa en la figura 2.

Por esta razón los desarrollos prácticos están enfocados y referenciados a este Brazo Robot.

2. DIAGRAMA DETALLADO DEL SISTEMA

El funcionamiento del sistema inicia con el ingreso de los puntos inicial y final de la trayectoria; es decir a donde se quiere que el brazo se mueva, los puntos seleccionados se seleccionan en el espacio cartesiano,

Una vez ingresados los puntos $((x_i, y_i, z_i) (x_f, y_f, z_f))$ se realiza una generación de trayectoria en el espacio a través de la función de la recta en el espacio, eligiendo la cantidad de puntos intermedios entre el punto inicial y el final. Con las ternas de puntos inicial y final $(x_i, y_i, z_i) \dots (x_n, y_n, z_n)$ según la cantidad de puntos intermedios se procede a realizar la transformación del espacio cartesiano a variables del espacio articular de cada articulación, esto se realiza según el método geométrico. Lo que nos da como resultado variables acordes a las articulaciones estas son:

$$(\theta_{1_i}, \theta_{1_f}, \theta_{2_i}, \theta_{2_f}, \theta_{3_i}, \theta_{3_f}, \theta_{4_i}, \theta_{4_f}, \theta_{5_i}, \theta_{5_f})$$

Con la obtención de las variables de cada articulación se procede a realizar una generación de trayectoria, pero esta vez en el espacio de las articulaciones, lo cual nos da como resultado una secuencia de valores tales como:

$$\begin{aligned}
 &(\theta 1_i \dots \theta 1_n \dots \theta 1_f) \\
 &(\theta 2_i \dots \theta 2_n \dots \theta 2_f) \\
 &(\theta 3_i \dots \theta 3_n \dots \theta 3_f) \\
 &(\theta 4_i \dots \theta 4_n \dots \theta 4_f) \\
 &(\theta 5_i \dots \theta 5_n \dots \theta 5_f)
 \end{aligned}$$

Estos valores junto con otros datos de control se transmiten desde la computadora al controlador del brazo vía EIA-232, el cual es el encargado de decodificarlas según un protocolo que se implemento para tal caso. Luego de recibir los datos, el controlador, los decodifica y los transmite al driver, el cual es el encargado de convertir dichos datos en señales acordes para el accionamiento de los actuadores (cinco motores paso a paso y un motor de continua).

El bloque de sensores es el encargado de informar al controlador (microcontrolador) la posición exacta en que cada articulación para así poder controlar del movimiento del brazo robot.

Como se observa en el diagrama detallado del sistema (figura 3).

3. CINEMÁTICA DIRECTA

3.1 Ejes según Denavit - Hertenberg

Dichos ejes se obtuvieron según el algoritmo propuesto por Denavit-Hertenberg. En este punto lo que se utilizo es la disposición de los ejes.

4. ESPACIO DE TRABAJO

El espacio de trabajo viene determinado por las características físicas del robot bajo estudio. (Figura 9.1)

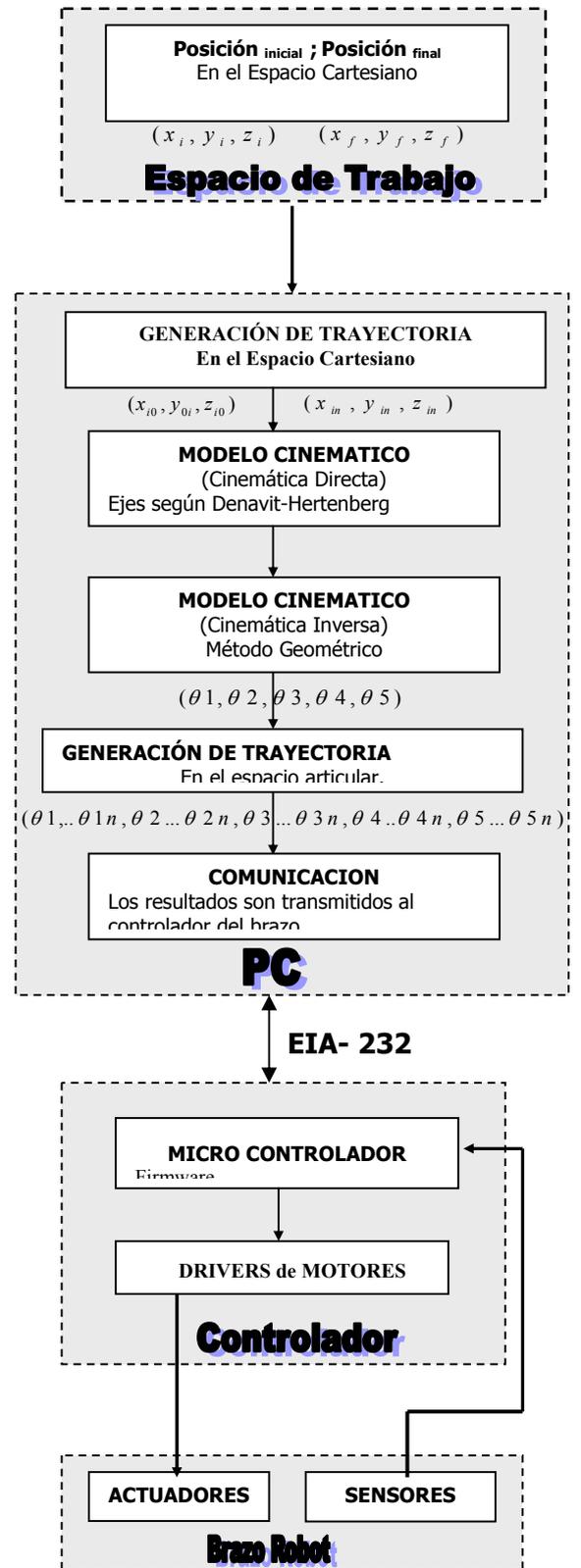


Figura 3 Diagrama detallado del Sistema

En el caso del MACII (brazo robot), primero se analizó el espacio de trabajo en el plano y luego mediante revolución se obtuvo el volumen de trabajo, esto fue posible debido a que las articulaciones son todas de revolución.

Se diferenciaron dos casos: 1 caso en que la articulación de muñeca está fija (con pinza) y el 2 caso en el que la articulación de muñeca no está fija (sin pinza).

Las ecuaciones que describen los espacios de trabajo con pinza y sin pinza son:

Ecuaciones con pinza:

$$\begin{aligned} (Z-0.1168m)^2 + (\sqrt{X^2+Y^2}-0.022m)^2 &= (0.464m)^2 \rightarrow \text{Circulo b} \\ (Z-0.1168m)^2 + (\sqrt{X^2+Y^2}-0.1928m)^2 &= (0.292m)^2 \rightarrow \text{Circulo d} \\ (Z-0.1168m)^2 + (\sqrt{X^2+Y^2}-0.1488m)^2 &= (0.292m)^2 \rightarrow \text{Circulo b} \\ (Z-0.1168m)^2 + (\sqrt{X^2+Y^2}-0.022m)^2 &= (0.252m)^2 \rightarrow \text{Circulo d} \end{aligned}$$

Ecuaciones sin pinza:

$$\begin{aligned} (Z-0.1168m)^2 + (\sqrt{X^2+Y^2}-0.022m)^2 &= (0.464m)^2 \rightarrow \text{Circulo b} \\ (Z-0.1168m)^2 + (\sqrt{X^2+Y^2}-0.1928m)^2 &= (0.292m)^2 \rightarrow \text{Circulo d} \\ (Z-0.1168m)^2 + (\sqrt{X^2+Y^2}-0.1488m)^2 &= (0.292m)^2 \rightarrow \text{Circulo d} \\ (Z-0.1168m)^2 + (\sqrt{X^2+Y^2}-0.022m)^2 &= (0.156m)^2 \rightarrow \text{Circulo d} \end{aligned}$$

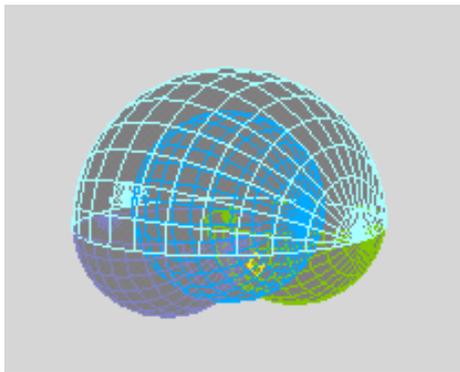


Figura 4 Espacio de Trabajo

La composición de las ecuaciones anteriores me da el espacio de trabajo para cada caso. A continuación se muestra el espacio de trabajo en 3d (figura 4).

5. CINEMÁTICA INVERSA

5.1 Método Geométrico

En esta sección se presenta el método geométrico empleado para la resolución del problema de cinemática inversa del brazo robot de cinco grados de libertad, con articulaciones de revolución. En base a los sistemas de coordenadas propuestos por Denavit-Hartenberg.

Según las coordenadas de Denavit-Hartenberg se obtienen las zonas de influencia de la muñeca, codo, hombro y base.

De acuerdo al punto final (Pf(xyz)), punto a alcanzar por el brazo, cuyas coordenadas son cartesianas y a través del método geométrico se obtienen los distintos ángulos θ_5 , θ_4 , θ_3 , θ_2 y θ_1 de las articulaciones. Las ecuaciones implementadas fueron:

$$\begin{aligned} X_0 &= (a_3 * \cos(\theta_2) + a_4 * \cos(\theta_3) + d_5 * \cos(\theta_4) + r) * \cos(\theta_1) \\ Y_0 &= (a_3 * \cos(\theta_2) + a_4 * \cos(\theta_3) + d_5 * \cos(\theta_4) + r) * \sin(\theta_1) \\ Z_0 &= a_3 * \sin(\theta_2) + a_4 * \sin(\theta_3) + d_5 * \sin(\theta_4) + b_1 \end{aligned}$$

Usando coordenadas cilíndricas se obtuvo la última ecuación que junto con las tres anteriores se emplearon para la realización del algoritmo del método geométrico.

$$X_0 * \sin(\theta_1) = Y_0 * \cos(\theta_1)$$

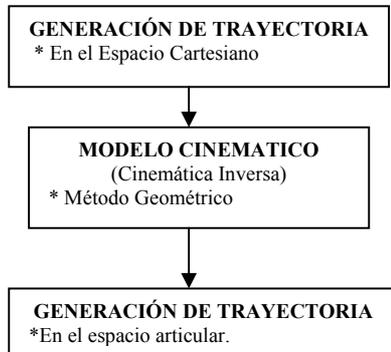
6. PLANIFICACIÓN DE TRAYECTORIA IMPLEMENTADA

6.1 Generación de Trayectoria

El objetivo de la generación de trayectoria es aproximar el camino deseado. Para aproximar dicho camino deseado se utilizan unas series de puntos entre el punto inicial y el final. Estos puntos se obtienen de determinadas funciones como ser polinomiales, lineales, etc.

Cabe destacar que en nuestro caso se utilizaron generación de trayectoria en el espacio cartesiano dentro del espacio de trabajo del brazo y también generación de

trayectoria en el espacio de las variables articulares. Como se ilustra en el siguiente esquema.



Como se ilustra, el método utilizado para realizar la transformación del espacio cartesiano al espacio de las variables articulares es el geométrico.

6.2- Generación de Trayectoria en el Espacio Cartesiano

Dado los punto inicial y final en el espacio cartesiano $((x_f, y_f, z_f), (x_o, y_o, z_o))$ dentro del espacio de trabajo del bazo robot, se procede a unir dichos puntos por medio de una función, se elige la cantidad de puntos intermedios entre los puntos inicial y final. Para ello se eligió la función de una recta en el espacio la cual viene determinada por:

$$\begin{cases} x = x_o + a \times m \\ y = y_o + b \times m \\ z = z_o + c \times m \end{cases}$$

Para $0 \leq m \leq 1$

Donde:

$$a = x_f - x_o$$

$$b = y_f - y_o$$

$$c = z_f - z_o$$

En el calculo de los puntos intermedios se tiene en cuenta la cantidad de puntos intermedios (n) que selecciona el usuario.

6.3 Generación de Trayectoria en el Espacio Articular

El algoritmo para la generación de trayectoria debe cumplir con:

- El brazo debe llegar al punto final en el tiempo deseado.
- El movimiento debe ser suave.
- La generación debe tener en cuenta los limites físicos del brazo.

Para el calculo de los pares de puntos $(\Delta\theta, t)$ se tuvo en cuenta el limite en tiempo (t_{min}) que es establecido por la electrónica del brazo, ya que si se excede dicho limite el movimiento del brazo deja de ser continuo debido a que no se puede disminuir mas ese tiempo mínimo ya que sobrepasaría el tiempo de respuesta de cada motor y no funcionarían los motores correctamente. El tiempo máximo viene determinado por un movimiento discontinuo del brazo ya que como los motores son paso a paso se notan los pasos y se pretende evitar este efecto.

El algoritmo de generación de trayectoria consta de 3 sub algoritmos:

- Algoritmo $(\Delta\theta, t)$
- Algoritmo de corrección entre articulaciones
- Algoritmo de corrección entre puntos de una misma articulación

En las siguientes secciones se detallan cada uno de los mismos.

Algoritmo $(\Delta\theta, t)$

Este algoritmo calcula los pares de puntos $(\Delta\theta, t)$ para cada una de las diferentes articulaciones, teniendo en cuenta las limitaciones electrónicas del controlador (t_{min}).

Los puntos calculados se aproximan entre si a través de diversas funciones.

Algoritmo de corrección entre articulaciones:

El algoritmo tiene como objeto fundamental corregir las vibraciones del brazo producido por la diferencia de velocidad entre articulaciones sucesivas. Si la velocidad difiere x cantidad de la siguiente, se genera un torque excesivo, y con ello se producen las vibraciones (comúnmente llamado temblequeo) que perturba la continuidad de un movimiento suave y preciso.

De esta manera se corrige en forma indirecta el torque de los motores, ya que el control del Brazo Robot no tiene una forma de hacerlo para cada motor en particular, siendo esto lo ideal. La otra limitación que presenta es que los actuadores son motores de tipo paso a paso, y la variación del torque en los mismos es casi nulo. Carece de sentido realizar un modelo Dinámico del Sistema para controlar el torque de los motores.

Algoritmo de corrección entre puntos de una misma articulación

El algoritmo de corrección provee al brazo de un movimiento continuo entre puntos de una misma trayectoria de articulación, amortiguando el salto de velocidad que se produce entre los mismos. Sin esta corrección, se apreciaría una notable discontinuidad de velocidad entre los límites de un segmento y otro (Final del segmento **inicial** Inicio del segmento de **Despegue**).

7. PLANIFICACIÓN DE TRAYECTORIA DEL EFECTOR FINAL

7.1 Agarre de la pinza

La finalidad del mecanismo de la pinza es convertir la potencia de entrada en el movimiento requerido y la fuerza para agarrar y sujetar un objeto. Se supondrá que sé esta utilizando una acción de agarre de tipo fricción para sujetar la pieza.

En el agarre se tuvieron en cuenta la forma del objeto y la fuerza con la que se va a agarrar el objeto.

En el presente trabajo se consideraron dos formas de agarre de objetos: horizontal y vertical, quedando abierto para futuras mejoras, Por ello la pinza deberá posicionarse para los distintos tipos de agarres.

7.2 Control Fuzzy en el agarre

En el presente trabajo se incorporo lógica difusa para controlar la fuerza aplicada al objeto en el agarre. Las variables de entrada que se consideraron fueron torque deseado para el agarre y el torque medido. El método de defusificación de la salida empleado es el método de calculo del centro de gravedad o centroide en forma discreta. La ecuación que responde a dicho método es:

$$cog = \frac{\sum_{i=0}^n \mu(z)_i \times z_i}{\sum_{i=0}^n \mu(z)_i}$$

La salida así obtenida es un numero concreto, que representa la frecuencia del pwm que se aplicara al motor de dc para generar el torque deseado.

8. CONCLUSIONES:

-Para trayectorias con puntos inicial y final distanciados, los algoritmos utilizados, fueron de cuarto orden, comprobándose en suficientes casos la suavidad del movimiento deseado.

-Para trayectorias en las que los puntos inicial y final están separados por una longitud media, se aproximó con polinomios de segundo y tercer orden.

-Para trayectorias cortas fueron suficientes aproximaciones de primer orden.

-La fuerza del efector final (pinza del robot) fue controlada mediante lógica difusa; y fue suficiente cinco funciones de membresía; con este diseño el agarre de la pinza es suave, pero al mismo tiempo firme; lo que se refleja en la seguridad, tanto del agarre como la traslación de los objetos.

-Dada la utilización de el protocolo EIA-232, para la comunicación entre la computadora y el hardware del robot; el sistema queda abierto para futuras mejoras.

-Como la interfase para el ingreso de los datos al sistema se realizó sobre una plataforma visual; se puede decir que el sistema es amigable.

-Dado que en la realización del presente proyecto sean utilizadas convenciones estándar en cada una de sus partes; los autores están convencidos, que el sistema tiene cualidades importantes con respecto a la didáctica de la robótica.

Barrientos, Antonio. Peñín, Luis Felipe.
Balagues, Carlos. Aracil, Rafael.
Fundamentos de Robótica. Editorial
McGraw-Hill, 97. *****

Rapela, Diego Ricardo. Extensión implícita
del espacio de trabajo de una mano diestra a
través de Reagarrar en Tareas de Ensamble.
Tesis Doctoral 2001.

Timothy J. Ross. Fuzzy Logic Whit
Engineering Applications. Editorial
McGraw-Hill, 95. *****

REFERENCIAS

K.S. Fu, R.C. González, C.S.G. Lee.
ROBOTICA: Control, Detección, visión e
inteligencia. Editorial McGraw-Hill, 1990.
599 p. ****

Kelly, Rafael. Santibáñez, Víctor.
Automática Robótica. Control del
movimiento de Robots Manipuladores.
Editorial Prentice may, 2003. ****