



A Fuzzy Logic Positioning System for an Articulated Robot Arm

Alhely González Luna

2024-11-07

<https://ieeexplore.ieee.org/document/551750>



Tabla de contenidos

Introducción



Los brazos robóticos que emulan el brazo humano son llamados *brazos articulados*. Dichos brazos son capaces de alcanzar por sobre o debajo de objetos, cubrir un área grande de trabajo y tienen gran flexibilidad. Sin embargo, para desempeñar tareas más complejas se necesitan modelos cinéticos complejos, que incluyen controlar el movimiento lineal y visualizar como debe moverse el brazo de un punto a otro.



Las ecuaciones de movimiento del brazo articulado convierten coordenadas de 3 dimensiones del mundo real a **coordenadas conjuntas**. Las ecuaciones en 3 dimensiones usualmente son fáciles de expresar en su forma cerrada con geometría básica. Para ser capaces de posicionar el brazo, el sistema de control debe ser capaz de convertir dichas ecuaciones a **coordenadas conjuntas**. Es decir, deben resolverse las ecuaciones de movimiento inversas, también llamadas *ecuaciones del brazo*.

Cuando no es posible resolver dichas ecuaciones, se utilizan métodos eurístico para estimar las coordenadas conjuntas basadas en la configuración del brazo. Un sistema basado en lógica difusa es una excelente alternativa para lidiar con la ambigüedad del método eurístico.



Sistema de Implementación

El sistema experimental consiste de:

- Computadora personal con un microprocesador Motorola 68HC11: Provee una interfaz gráfica que controla el brazo y su movimiento.
- Brazo articulado

La posición está definida por las coordenadas esféricas que son el dato de entrada para el sistema de control difuso que genera *coordenadas conjuntas nítidas*. Dichas coordenadas se envían al microprocesador que se encarga de posicionar el brazo.

El brazo consta de tres servomotores (cintura, hombro y codo) y tres eslabones sólidos.

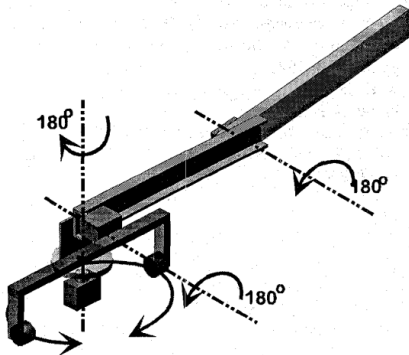


Figure 1: Articulated arm.



El microprocesador genera la forma de onda de tiempo intensivo, que es, en esencia, una representación gráfica detallada de cómo una señal eléctrica (la que se utiliza para controlar el servomotor) varía con el tiempo.

No existen sensores ni ningún otro tipo de mecanismos que ayuden al posicionamiento del brazo. Las instrucciones se mandan al servomotor y este mueve el brazo a su nueva posición.

La exactitud del posicionamiento del brazo depende de las coordenadas conjuntas y la resolución de los motores.

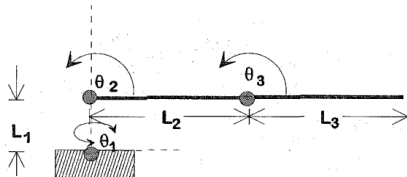
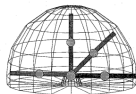
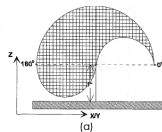


Figure 2: Manipulator arm in zero position.

θ_1 es el ángulo de rotación de la cintura, θ_2 es el ángulo de rotación del hombro y θ_3 es el ángulo de rotación del codo. Cada motor puede girar a través de un ángulo de 190° , en la implementación cada unión entre motores está limitada a un ángulo de rotación de 180° y puede alcanzar 256 puntos discretos distribuidos uniformemente a través de los ejes de rotación. Todos los brazos tienen la misma longitud de 1 .

Sistema de Implementación

Y el brazo puede alcanzar puntos dentro de una (aproximadamente) semiesfera cuya sección transversal se muestra a continuación



Ecuaciones Cinéticas del sistema de control

En coordenadas cartesianas las ecuaciones de movimiento del brazo son

$$\dot{x} = \cos(\theta_1)[L_2\dot{\theta}_2\cos(\theta_2) - L_3\dot{\theta}_2\sin(\theta_2 + \theta_3)]$$

$$\dot{y} = \sin(\theta_1)[L_2\dot{\theta}_2\cos(\theta_2) - L_3\dot{\theta}_2\sin(\theta_2 + \theta_3)]$$

$$\dot{z} = L_2\dot{\theta}_2\sin(\theta_2) + L_3\dot{\theta}_2\sin(\theta_2 + \theta_3) + L_1\dot{\theta}_1$$

Resolver las ecuaciones de movimiento para el brazo se traduce en resolver para $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ en términos de x, y, z .

Ecuaciones Cinéticas del sistema de control

En coordenadas esféricas el control del brazo está definido por

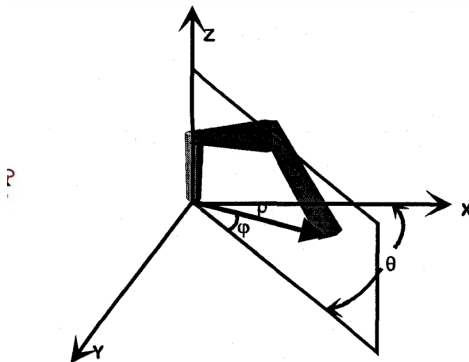


Figure 4. Spherical coordinate system for the articulated arm.

Ecuaciones Cinéticas del sistema de control

En términos de coordenadas esféricas ρ representa la distancia del origen al final del brazo y ϕ es el ángulo de inclinación de la horizontal al vector ρ , mientras que θ define el ángulo del servomotor de cintura (o de inclinación horizontal), que está dado por $\theta_1 = \arctan(\frac{y}{x})$. Se tiene entonces, en coordenadas esféricas

$$\theta = \theta_1 = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (1a)$$

$$\begin{aligned} \phi &= \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) \\ &= \arctan\left[\frac{[L_2 \sin(\theta_2) + L_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + L_1]}{[L_2 \cos(\theta_2) + L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)]}\right] \end{aligned} \quad (1b)$$

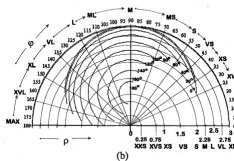
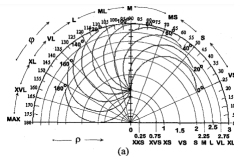
$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1c)$$

De las ecuaciones anteriores puede encontrarse θ_1 y el problema se reduce a dos dimensiones. Cuando el brazo está en posición vertical $\phi = 90^\circ$ la ecuación para el arco tangente del denominador entre x , y no está definida, por lo que se usa la forma alternativa

$$\rho = \{[L_2 \cos(\theta_2) + L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)]^2 + [L_2 \sin(\theta_2) + L_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + L_1]^2\}^{1/2} \quad (2a)$$

$$\begin{aligned} \phi &= \arccos \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\rho} \right) \\ &= \arccos \left[\frac{L_2 \cos(\theta_2) + L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)}{\rho} \right] \quad (2b) \end{aligned}$$

Como todos los componentes tienen la misma longitud de 1, cuando el brazo está totalmente extendido $\rho = 3$, $\theta_3 = 0$ y $\theta_2 = 90^\circ$, esta es la configuración para el valor máximo de ρ . Para los demás casos, conociendo los valores de θ_2, θ_3 pueden saberse los valores de ρ y ϕ . La siguiente figura muestra el espacio de soluciones manteniendo θ_2, θ_3 respectivamente mientras se varía el ángulo restante en incrementos de 20° ambos en el rango entre 0 y π



Sistema de control difuso

La solución a la figura anterior puede utilizarse en lugar de resolver las ecuaciones de movimiento. El objetivo es identificar los puntos donde la solución para ρ, ϕ es conocida y utilizarlos como marcadores para desarrollar la base de reglas difusas del sistema de posicionamiento. Se propone el siguiente sistema

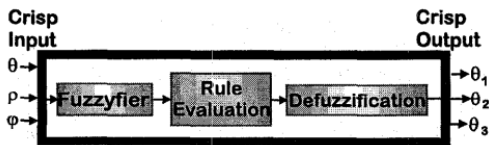


Figure 6. Fuzzy positioning system.



Donde la variable de entrada es dada por el usuario y representan las coordenadas esféricas hacia donde el brazo debe moverse. Estas variables son *fusificadas* para representar las coordenadas como miembros de un conjunto difuso, estas variables de entrada difusas son emparejados contra las reglas difusas y los resultados se defusifican para dar los parámetros exactos para los servomotores.

Se crean los conjuntos de membresía para las dos variables ρ, ϕ , ya que θ se asume conocido.

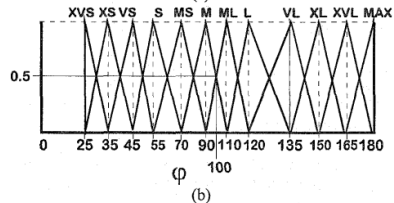
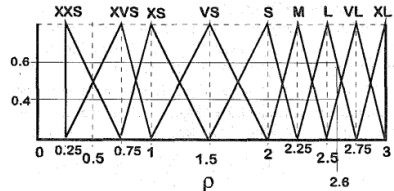
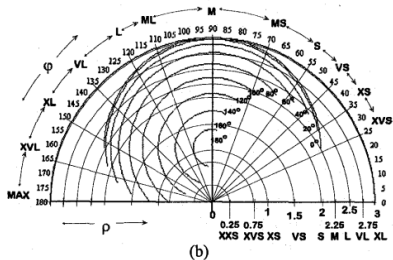


Figure 8. Fuzzy sets representing ϕ used to approximate θ_3 .

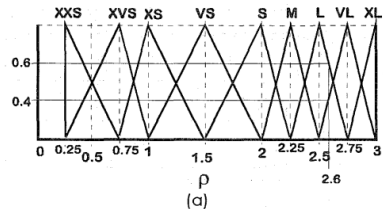
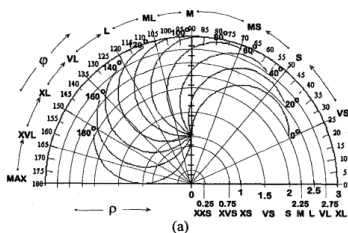


Figure 9. Fuzzy sets representing ϕ (a) and ρ (b) used to approximate θ_2 .

Lo anterior se utiliza para transformar los valores de entrada ρ, ϕ a sus valores de membresía, por ejemplo

For θ_2 (Fig. 9):

$\phi = 100^\circ \rightarrow 0.33$ in M and 0.66 in ML;

$\rho = 2.6 \rightarrow 0.6$ in L and 0.4 in VL (3a)

For θ_3 (Fig. 7 & Fig. 8):

$\phi = 100^\circ \rightarrow 0.5$ in M and 0.5 in ML;

$\rho = 2.6 \rightarrow 0.6$ in L and 0.4 in VL (3b)

Reglas difusas

φ

	VS	S	MS	M	ML	L	VL	XL	XVL	MAX
XL				90						
VL			35	61	89	120				
L		10	20	49	75	100	135			
M			10	35	65	95	125	160		
S				25	40	90	120	160		
VS				10	60	90	120	145	165	
XS				0	115	120	135	150	165	180
XVS					145	145	150	160	170	
XXS										

θ_2 (b)

φ

	XVS	XS	VS	S	MS	M	ML	L	VL	XL	XVL	MAX
XL						0						
VL				20	50	58	45	30				
L			35	60	80	83	74	70	40			
M					100	105	100	90	70	30		
S						125	115	105	90	70		
VS						155	150	135	115	100	80	
XS						180	160	150	140	120	110	90
XVS							155	150	145	130	115	
XXS												

θ_3 (b)

Figure 10. Fuzzy Associative Memory (FAM) for θ_2 and θ_3 as functions of φ and ρ .

255

Se muestran las reglas en la forma de Memoria Asociativa Difusa (FAM). Se tienen potencialmente 90 reglas para controlar θ_2 y 108 para θ_3 , sin embargo, en

Desfusificación

El proceso de de Desfusificación se lleva a cabo usando la técnica de promedios ponderados

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (5)$$

donde z_i es el valor de salida de las reglas y μ_i es el grado de verdad, que está definido como el mínimo de los grados de verdad de los antecedentes, que es la conversión de coordenadas esféricas a valores difusos.

For θ_2 (Fig. 9):

$$\begin{aligned} \varphi = 100^\circ &\rightarrow 0.33 \text{ in M and } 0.66 \text{ in ML;} \\ \rho = 2.6 &\rightarrow 0.6 \text{ in L and } 0.4 \text{ in VL} \end{aligned} \quad (3a)$$



La habilidad para controlar un brazo articulado sin resolver las ecuaciones de movimiento permite llevar a cabo movimientos más complejos en el brazo. En este artículo se muestra que un sistema difuso de posicionamiento permite una solución rápida, flexible y fácil de mantener incluso si se necesitan cambios en las reglas, ya que dichos cambios pueden hacerse sin necesidad de cambiar el funcionamiento del brazo.