

Sistema de lógica difusa para control de péndulo invertido.

Cecilia Fili, Mía Torres López, Gonzalo Romero Román
Inteligencia Artificial II, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

Resumen — En ésta monografía se busca describir la implementación de un sistema de control basado en lógica difusa para la aplicación de un péndulo invertido de un grado de libertad. Las simulaciones obtenidas exhiben un buen comportamiento del algoritmo para la aplicación en cuestión. Se demuestra entonces el beneficio de utilizar sistemas de inferencia difusa.

Palabras claves — Fusificador, Péndulo invertido, Lógica difusa.

I. INTRODUCCION

La teoría de los conjuntos difusos es una herramienta eficiente para modelar y tratar con la naturaleza imprecisa y no lineal de los problemas prácticos de toma de decisiones y clasificación.

La principal ventaja de los sistemas basados en lógica difusa es su eficiencia en el manejo de problemas complejos y no lineales debido a su inherente carácter no lineal, su capacidad de adaptación e integración de conocimiento experto. Las funciones de la lógica difusa tienen la ventaja de llegar a soluciones basadas en reglas lingüísticas y variables con claros significados físicos.

En ésta monografía se utiliza un sistema de control de lógica difusa para el control de ángulo y velocidad en un péndulo invertido. En la sección II se detallará el problema a resolver, en la sección III se

explicará el diseño planteado y la metodología utilizada, en la sección IV se representarán los resultados obtenidos y su respectiva evaluación. Por último se expondrán las conclusiones obtenidas.

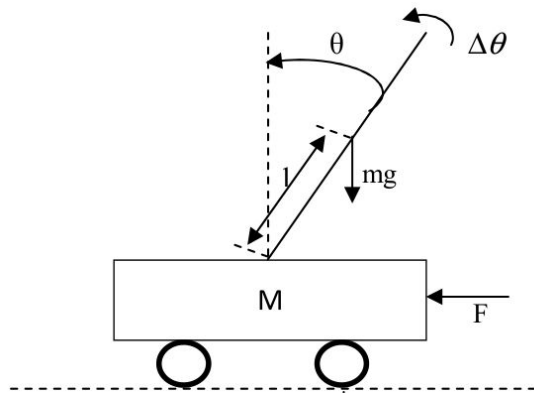
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El objetivo del problema es controlar el movimiento de un péndulo invertido sobre un carrito fijo en el espacio. Se parte de un ángulo y una velocidad inicial, es decir, que el controlador tiene dos entradas siendo un sistema MISO (multiple-input, single-output).

El péndulo es libre de rotar solo en el plano vertical del carrito, teniendo por lo tanto un solo grado de libertad.

El objetivo del control es aplicar la fuerza correspondiente en cada instante de tiempo para llevar dicho péndulo a una velocidad y posición iguales a cero de modo tal que el péndulo se estabilice en su posición invertida.

El modelo del péndulo es representado en la siguiente figura:



La dinámica del péndulo invertido se modela siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$a_i = \frac{g \sin(\theta) + \cos(\theta) \frac{((-F - mclv^2 \sin(\theta)))}{mb + mc}}{\frac{l * (4/3 - (mb * \cos^2(\theta)))}{mb + mc}}$$

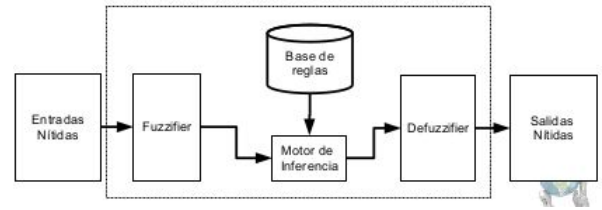
$$v_i = v_{i-1} + a_i * dt$$

$$\theta_i = \theta_{i-1} + v_i * dt + 1/2 * a_i * dt^2$$

Donde g es la aceleración de la gravedad, θ_{i-1} y θ_i es el ángulo del péndulo en los instantes $i-1$ e i respectivamente, l es la longitud del péndulo, mc la masa del carrito, mb es la masa de la barra, v_{i-1} y v_i es la velocidad del péndulo en un instante $i-1$ e i respectivamente, a_i es la aceleración en el instante i y F es la fuerza calculada por el controlador.

III. DISEÑO Y METODOLOGÍA

Para resolver el problema se utilizó el siguiente modelo.



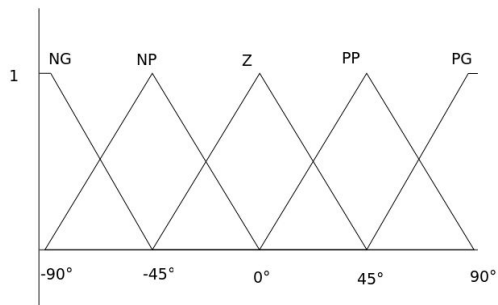
Las entradas nítidas, en este caso ángulo y posición, son fusificadas en el fusificador para posteriormente pasar al motor de inferencia que, a partir de la base de reglas, produce los datos necesarios para desfusificar y obtener así los datos nítidos de salida, en este caso, la fuerza a ejercer sobre el péndulo. Se calcula a partir de dicha fuerza las nuevas velocidades y ángulos para posteriormente utilizarlas como entradas nítidas hasta alcanzar el estado deseado.

Para el problema, se especificaron los siguiente valores de hiperparámetros:

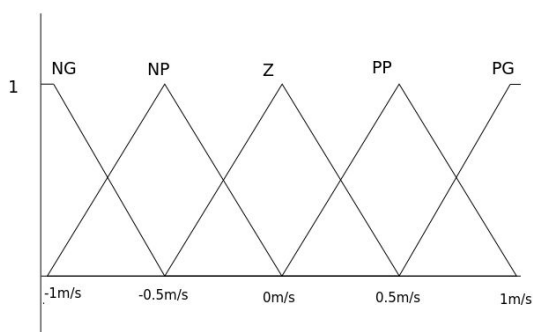
Variables lingüísticas: Al ser un sistema MISO, tenemos múltiples variables de entrada, en este caso dos, que serán ángulo y velocidad de entrada y la variable de salida es la fuerza necesaria para mantener el péndulo es la posición de equilibrio invertida.

Funciones de pertenencia: se utilizaron funciones triangulares, a continuación se muestra la función de pertenencia utilizada para el ángulo.

Se utilizan cinco conjuntos borrosos (NG: negativo grande, NP: negativos pequeño, Z: cero, PP: positivo pequeño, PG: positivo grande).



A continuación se muestran las funciones de pertenencia para el caso de la velocidad, donde también se utilizan cinco conjuntos borrosos:



Operación difusa: se utilizaron normas triangulares (Normas-T) y específicamente la Norma-T por mínimos.

FUERZA		V				
		NG	NP	Z	PP	PG
α	NG	NG	NP	NP	NP	NP
	NP	NP	NP	NP	NP	Z
	Z	NP	NP	Z	PP	PP
	PP	Z	PP	PP	PP	PP
	PG	PP	PP	PP	PP	PG

Donde NP es negativo pequeño, NG es negativo grande, Z se refiere a cero, PP es positivo pequeño y PG es positivo grande.

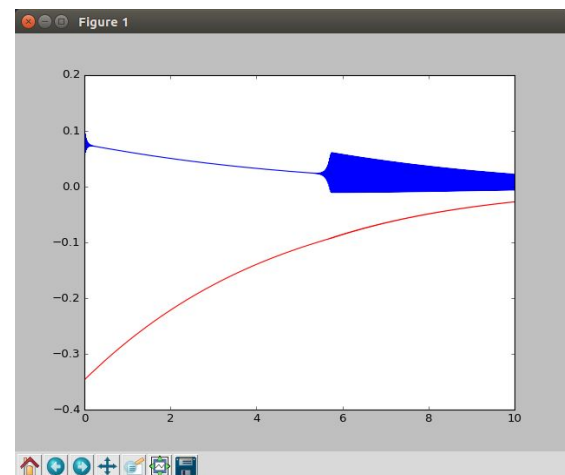
Se utilizó como base una fuerza de 250N para realizar la desborrisificación por

media de centros. De manera tal que NG correspondería a una fuerza de -500N, NP a una de -250N, Z a una de 0N, PP a una de 250N y PG a una de 500N.

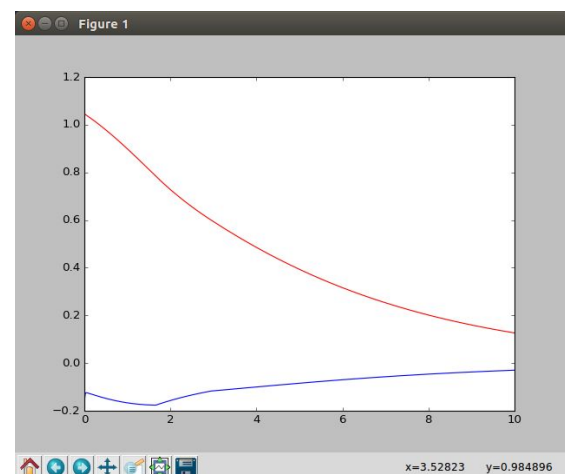
IV. RESULTADOS Y EVALUACIÓN

En ésta sección se describen los resultados de la simulación para el péndulo invertido.

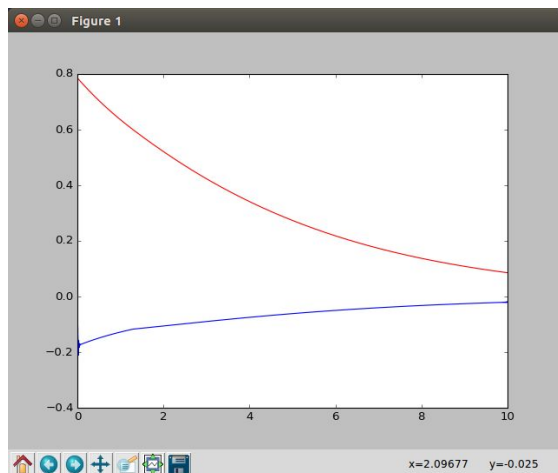
Estos resultados se encuentran representados en lo siguientes gráficos para distintos valores de las condiciones iniciales, donde el color rojo representa las variaciones de ángulo y en azul variaciones de velocidad.



Ángulo inicial: $-\pi/9$ rad
Velocidad inicial: - 0,2 m/s



Ángulo inicial: $\pi/3$
Velocidad inicial: -0,3 m/s



Ángulo inicial: $\pi/4$ rad

Velocidad inicial: -0,8 m/s

Podemos observar que para los casos testeados se obtiene convergencia del ángulo del péndulo a el valor cero, demostrando así que se logra mantener a éste en su punto de equilibrio inestable, verificando por lo tanto la utilidad de los algoritmos basado en la lógica de control difuso.

V. CONCLUSIÓN

En ésta monografía se ha detallado la implementación de un algoritmo basado en el control por lógica difusa en la aplicación de un péndulo invertido donde se busca que el sistema mantenga la posición de equilibrio inestable al recibir distintos valores para sus parámetros de entrada que son el ángulo y su velocidad inicial. A partir de las simulaciones realizadas, se observó el correcto funcionamiento del algoritmo y su viabilidad para ser utilizado en una aplicación real.

REFERENCIAS

[1] Pintu Chandra Shill, Md. Faijul Amin, and Kazuyuki Murase "Design of a Self-Tuning Hierarchical Fuzzy Logic Controller for Nonlinear

Swing Up and Stabilizing Control of Inverted Pendulum" 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence

[2] B. Martín del Brío y A. Sanz Molina "Redes neuronales y sistemas borrosos"

[3] M. Marchetta, "Sistemas difusos" Apuntes de Cátedra, Inteligencia Artificial II