

Universidad de Ingeniería Y Tecnología

Global Academy



Introduction to Intelligent Control Systems

Proyecto 2

Castro Quispe, Eduardo Sebastián
Palma Rodríguez, Diego Alonso V.

Instructor: Diego Benítez, Ph.D.

Lima - Peru

2021-1

1. Introducción

Uno de los telescopios ópticos más grandes del mundo pertenece al Observatorio Mauna Kea, situado cerca de la cima del volcán inactivo de Hawái del mismo nombre, a 4205 m, lo que permite una excelente vista nocturna con un mínimo de interferencia de las fuentes de luz artificial o de la niebla atmosférica [1]. Este telescopio tiene 10 m de diámetro y está formado por un mosaico de 36 segmentos hexagonales, donde la orientación de cada segmento se encuentra controlada de forma activa. De acuerdo con [2], la función de transferencia del control de orientación de cada segmento viene expresada como sigue:

$$G(s) = \frac{10}{s(s^2 + 2s + 5)} \quad (1)$$

En base a ello, el presente proyecto tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de control basado en lógica difusa y un sistema de control PID para el control de orientación de cada segmento del telescopio.

2. Control basado en Lógica Difusa y Control PID

En la presente sección se muestran dos enfoques de control para la orientación de los segmentos del telescopio: El control basado en lógica difusa y control PID.

2.1. Control basado en Lógica Difusa

Para abordar este problema desde el punto de vista de la lógica difusa se debe seguir un proceso de inferencia. En primer lugar, se definen las variables y términos lingüísticos. En este caso se tiene dos entradas, error (d) y la derivada del error (α); y una salida que corresponde a la señal de control. Por lo tanto, tenemos 3 variables lingüísticas: 2 de entrada y 1 salida. A continuación, en la Tabla 1 se definen los términos lingüísticos de cada variable.

Tabla 1: Variables y Términos lingüísticos

Variables Lingüísticas	Términos Lingüísticos						
Error	Positive Large (PL)	Positive Medium (PM)	Positive Small (PS)	Zero (ZE)	Positive Large (PL)	Positive Medium (PM)	Positive Small (PS)
Derivada del Error	Positive Large (PL)	Positive Medium (PM)	Positive Small (PS)	Zero (ZE)	Positive Large (PL)	Positive Medium (PM)	Positive Small (PS)
Señal de control	Positive Large (PL)	Positive Medium (PM)	Positive Small (PS)	Zero (ZE)	Positive Large (PL)	Positive Medium (PM)	Positive Small (PS)

Asimismo, en la Tabla 2 se muestra el rango de cada una de las variables lingüísticas.

Tabla 2: Rango de las variables lingüísticas

Variables Lingüísticas	Error	Derivada del Error	Señal de control
Rango	[-100, 100]	[-4, 4]	[-3, 3]

La lógica que seguirá el sistema es relativamente sencilla y consiste básicamente en que el error se reduzca a 0. Si el error es positivo se debe tener una salida positiva de tal forma que disminuya el error. El valor de esta salida dependerá de la derivada del error, es decir, ya sea que sea que la variación del error en un instante de tiempo sea muy grande o pequeña. De manera similar ocurre si el error es negativo. En la tabla 3 se muestran las reglas que se utilizan para el control por lógica difuso y en la figura 3 se muestra el entorno del toolbox Fuzzy Logic Designer, en el cual se implementan las 49 reglas.

Tabla 3: Reglas del control difuso

		Derivada del error (dError)						
		PL	PM	PS	ZE	NS	NM	NL
Error (E)	PL	PL	PL	PL	PL	PM	PS	ZE
	PM	PL	PL	PL	PM	PS	ZE	NS
	PS	PL	PM	PM	PS	ZE	NS	NM
	ZE	PL	PM	PS	ZE	NS	NM	NL
	NS	PM	PS	ZE	NS	NM	NL	NL
	NM	PS	ZE	NS	NM	NL	NL	NL
	NL	ZE	NS	NM	NL	NL	NL	NL

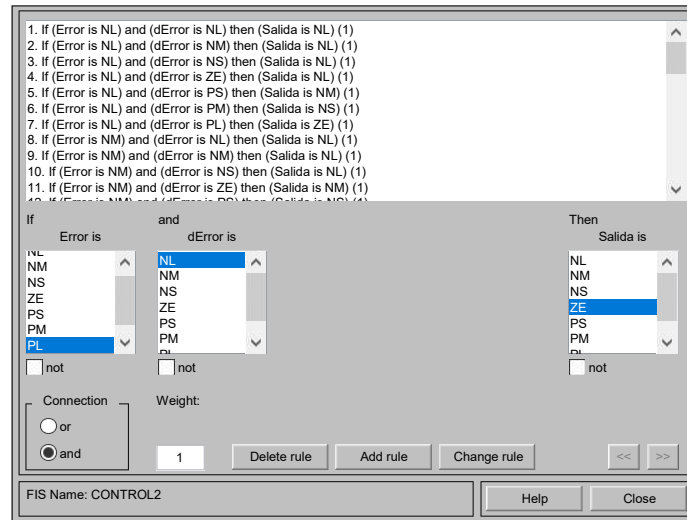


Figura 1: Implementación de las reglas en el entorno del toolbox Fuzzy Logic Designer

Una vez definidas las reglas, se tiene que definir las funciones de pertenencia que se utilizarán para cada término lingüístico. En este caso se utilizarán funciones de pertenencia triangular tanto para las entradas como para la salida, cuya implementación se observa en la figura 2. Asimismo, se utiliza el método de defuzzificación del *centroide*, debido a que es uno de los más utilizados.

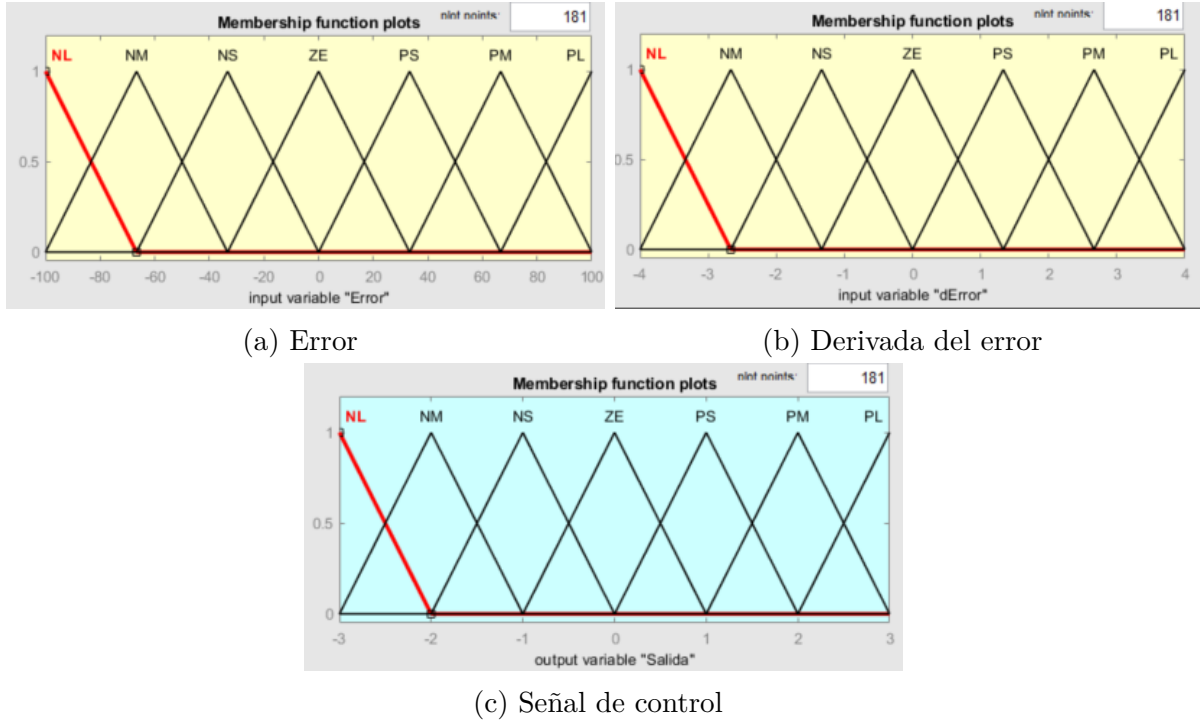


Figura 2: Gráficos de pertenencia

Finalmente, en la figura 3 se puede observar la implementación en Simulink del control basado en lógica difusa. Asimismo, se puede observar que las ganancias utilizadas para el control son $g_0 = 1,2$, $g_1 = 0,001$ y $h = 2$, los cuales fueron obtenidos mediante prueba y error.

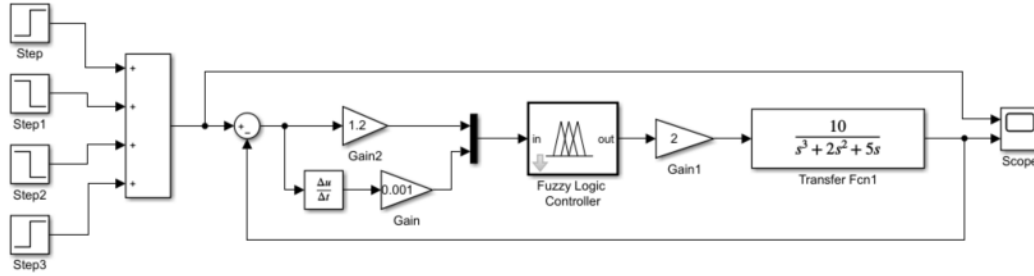


Figura 3: Implementación en Simulink del Control por lógica difusa

2.2. Control PID

El controlador PID en Simulink, por definición, tiene la siguiente forma:

$$G_c(s) = k_p + k_i \frac{1}{s} + k_d \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}} \quad (2)$$

Para este problema en particular se encontraron los valores de k_p , k_d y k_i mediante el comando `pidtune()` de MATLAB, pero se realizó un *post-tuning* para encontrar el mejor comportamiento posible. A partir de ello se obtuvo que solo es necesario implementar un controlador proporcional con un valor de k_p igual a 0.2. Finalmente, en la figura 4 se puede observar la implementación en

Simulink del control PID.

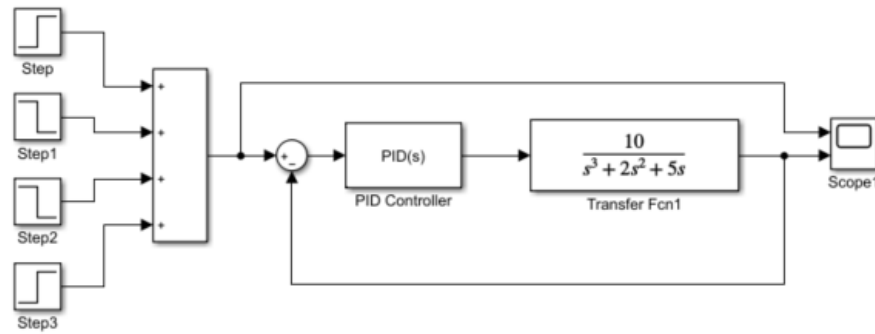


Figura 4: Implementación en Simulink del Control PID

3. Resultados

3.1. Sistema difuso

El sistema difuso arroja los resultados esperados, sigue las señales respectivas con un tiempo de establecimiento considerable. Este se pueden observar en la figura 5.

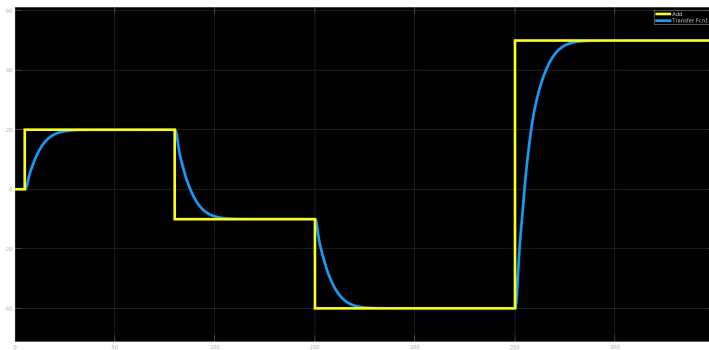


Figura 5: Resultados del sistema difuso

3.2. Sistema PID

De igual manera, el sistema PID arroja los resultados esperados. Este se pueden observar en la figura 6.

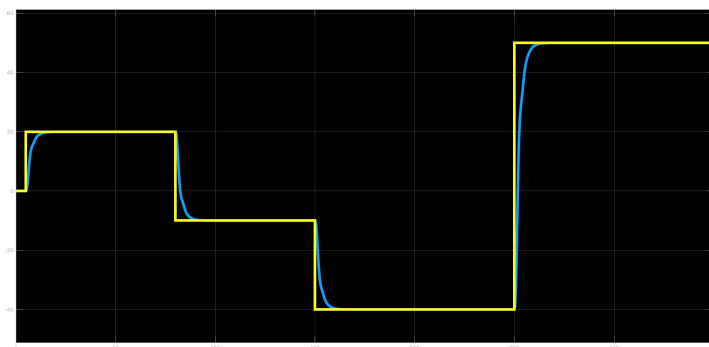


Figura 6: Resultados del sistema PID

3.3. Comparaciones

En tema de desempeño, ambos sistemas logran alcanzar la referencia y su porcentaje de sobreimpulso es del 0%. Sin embargo, difieren levemente en el tiempo de establecimiento. El sistema PID tiene un tiempo de establecimiento del 2% de 14 s. pero, no cuenta con un comportamiento fino como el sistema difuso, el cual tiene un tiempo de establecimiento de aproximadamente 20s. Si tomamos en consideración el tiempo de establecimiento, sería mejor usar el sistema PID; por el contrario, si valorizamos un fino arranque el sistema difuso sería mejor.

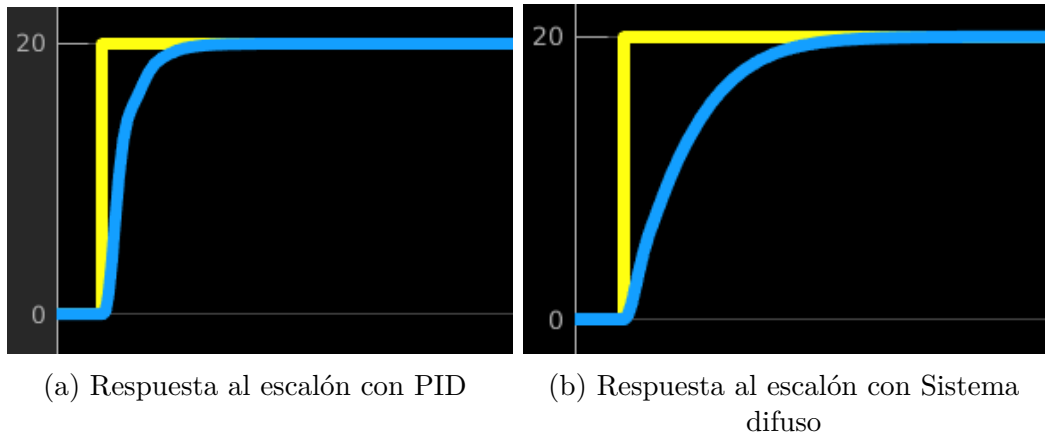


Figura 7: Comparación de tiempo de establecimiento

Como podemos ver en la figura 7 el controlador PID tiene un menor tiempo de establecimiento, pero tiene una pequeña desviación justo en la esquina. Se puede observar que el controlador basado en lógica difusa tiene un arranque más fino.

4. Conclusiones

El presente proyecto presentó el diseño e implementación de un sistema de control basado en lógica difusa y un sistema de control PID para el control de orientación de cada segmento del telescopio óptico del Observatorio Mauna Kea.

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que el sistema basado en lógica difusa logra estabilizar el sistema con un tiempo de establecimiento de 20s. Asimismo, el sistema con controlador PID logra estabilizar el sistema en un menor tiempo de establecimiento. Sin embargo, se puede notar que el control difuso tiene un comportamiento más fino que el controlador PID. Dada la naturaleza del problema, es recomendable utilizar el controlador difuso, pues la diferencia en el tiempo de establecimiento solo es de unos cuantos segundos y este no es un factor fundamental en el control de orientación.

Referencias

- [1] R. Torres, "Telescopios ópticos gigantes", Rosamarthatorres.com, 2020. [Online]. Available: <http://www.rosamarthatorres.com/telescopios.html>
- [2] R. Dorf and R. Bishop, Modern control systems. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2005.