

# EL 7038: Introducción a la Teoría de Conjuntos Difusos y Sistemas Inteligentes

Semestre: Otoño 2020

Profesor : Claudio Held

Prof. Aux.: Leonardo Causa

Ayudantes: Cristóbal Garrido  
Jorge Zambrano

## PROYECTO N°1: CONTROLADOR POR LOGICA DIFUSA

El objetivo de esta tarea es familiarizarse con un sencillo controlador por lógica difusa (CLD).

### 1. APLICACION: LA PLANTA

El modelo de la planta que se desea controlar es una simplificación extrema de una caldera de una máquina a vapor, en la que identificamos sólo dos variables: el calor (H: variable de entrada) y la presión (P: variable de salida). Supondremos que el cambio incremental de presión,  $\Delta P$  es proporcional a la variación en la cantidad de calor que se entrega,  $\Delta H$ :

$$\Delta H(t-1) \rightarrow \boxed{K} \rightarrow \Delta P(t)$$

es decir,  $\Delta P(t) = K \cdot \Delta H(t-1)$ , con  $K = 0,7$ .

Se desea controlar la variable P. Las variables de entrada del CLD son el error de presión, EP y la tasa de cambio del error de presión, TP. EP se mide con respecto a la Presión Objetivo (PO) o presión de referencia, es decir, la presión que se busca obtener.

$$\begin{aligned} EP(t) &= P(t) - PO; \\ TP(t) &= EP(t) - EP(t-1). \end{aligned}$$

Nótese que la definición para TP supone que la tasa de muestreo es constante. La variable de salida del CLD es el valor incremental de calor,  $\Delta H$  (es decir, la variable de entrada a la planta).

$$\begin{aligned} EP(t-1) &\rightarrow \\ TP(t-1) &\rightarrow \end{aligned} \quad \boxed{CLD} \rightarrow \Delta H(t)$$

La presión del vapor en la planta se obtiene de la presión anterior y el cambio incremental dictado por la definición de la planta:

$$P(t) = P(t-1) + \Delta P(t).$$

### 2. CONTROLADOR (CLD)

Considere

a) los siguientes valores difusos:

Negativo grande:	Ng	=	(-1,0; -1,0; -0,7; -0,55);
Negativo medio:	Nm	=	(-0,7; -0,5; -0,4; -0,2);
Negativo pequeño:	Np	=	(-0,4; -0,3; -0,2; -0,1);
Negativo ínfimo:	Ni	=	(-0,2; -0,1; 0,0; 0,0);

Cero:	Ce	=	(-0,25, 0,0; 0,0; 0,25);
Positivo ínfimo:	Pi	=	( 0,0; 0,0; 0,1; 0,2);
Positivo pequeño:	Pp	=	( 0,1; 0,2; 0,3; 0,4);
Positivo medio:	Pm	=	( 0,2; 0,4; 0,5; 0,7);
Positivo grande:	Pg	=	( 0,55; 0,7; 1,0; 1,0);

que están definidos en el rango normalizado [-1, 1].

b) las siguientes reglas difusas:

REGLA NUMERO	ERROR DE PRESION (EP)	TASA CAMBIO DEL ERROR DE P (TP)	INCREMENTO CALOR (ΔH)
1	Ng	(de_a Ng Pp)	Pg
2	(de_a Ng Nm)	(de_a Ng Np)	Pm
3	Np	(de_a Np Pi)	Pm
4	Ni	(de_a Ng Nm)	Pm
5	Ni	(de_a Pm Pg)	Np
6	(de_a Ni Pi)	Ce	Ce
7	Pi	(de_a Ng Nm)	Pp
8	Pi	(de_a Pm Pg)	Nm
9	Pp	(de_a Ni Pp)	Nm
10	(de_a Pm Pg)	(de_a Pp Pg)	Nm
11	Pg	(de_a Np Pg)	Ng
12	Ni	Pp	Ce
13	Ni	Np	Pp
14	Pi	Np	Ce
15	Pi	Pp	Np
16	(de_a Ng Np)	(de_a Pm Pg)	Pg
17	(de_a Pp Pg)	(de_a Ng Nm)	Ng

La interpretación semántica del operador "de\_a" es la unión del intervalo entre los valores difusos definidos. Es decir, si A y B son números difusos, y  $a_1 < a_2$ ;  $b_1 < b_2$ ;  $c_1 < c_2$ ;  $d_1 < d_2$ , la definición es:

$$A = (a_1; b_1; c_1; d_1), \quad B = (a_2; b_2; c_2; d_2): \quad \text{de}_a A B = (a_1; b_1; c_2; d_2).$$

### 3. PARAMETROS DE SIMULACION

Supondremos que los sensores que miden las variables de interés son capaces de discriminar valores dentro de un determinado rango y que se saturan al medir valores fuera de este. Se definen los siguientes rangos:

Rango Error de Presión (EP)	= [-15, 15]
Rango Tasa cambio error P (TP)	= [-15, 15]
Rango variación calor (ΔH)	= [-15, 15]

Se debe considerar que estas variables no pueden tomar valores fuera de estos rangos.

Por otro lado, definiremos

$$\text{Presión Objetivo o de referencia (PO)} = 750$$

### 4. TAREAS

Tanto la implementación computacional como las demás tareas deben realizarse en forma individual.

Describe los supuestos que aplicó y la implementación de su solución a las tareas propuestas.

Considere los siguientes casos de simulación:

- 1) Condición inicial  $P(0) = 650$

- 2) Condición inicial  $P(0) = 730$
- 3) Condición inicial  $P(0) = 840$

Algoritmos de des-difusión:

- Promedio de los supremos
- Centro de gravedad
- Alturas

Para la realización del proyecto se pide:

- Realizar un mapa de reglas EP x TP para la planta.
- Utilizando las presiones objetivos dadas y los métodos de des-difusión anteriores, simule la planta junto al CLD y muestre los resultados en un gráfico de  $P(t)$  vs.  $t$  y compare los resultados para la planta en cada caso. Recuerde que se trata de funciones discretas al momento de graficar. Indique que método de des-difusión es mejor en cada caso.
- Indique la secuencia de disparo de las reglas, y cuál es el aporte de cada una a la salida del controlador. Esta información se puede obtener monitoreando en cada iteración la medida de posibilidad del consecuente de cada regla, que se evalúa de acuerdo al estado dado por  $EP(t)$  y  $TP(t)$ .
- Muestre la trayectoria de la planta en el mapa de reglas sobre el plano EP x TP, asociando el estado a la regla con mayor "encaje" (la regla que más contribuye a la salida del controlador). En caso que más de una regla presente el mayor encaje, señálelas claramente.
- En el plano anterior, observe la convergencia al punto de equilibrio (idealmente  $EP = 0$ ,  $TP = 0$ , o en su entorno). Elimine reglas que estén en la trayectoria de la evolución del estado de la planta, es decir, alguna regla que haya contribuido a la salida del controlador en algunas iteraciones, y repita la simulación. Comente. ¿Es robusto el CLD? ¿Las características de respuesta del CLD (tiempo de subida, precisión en régimen permanente, etc.) siguen siendo aceptables?.
- Realice cambios en la base de conocimientos, ya sea variando los conjuntos difusos o agregando reglas de manera de obtener un CLD con mejor desempeño.
- ¿Cuál es el número mínimo de reglas que Ud. debe remover (eliminar) para tener un controlador con un comportamiento inaceptable? Simule bajo estas condiciones y compare con el sistema definido al comienzo

Para implementar los algoritmos de control difuso utilice una función de muestreo en los rangos de las variables  $([-1,1])$ , que considere al menos 41 puntos de muestra.

En las simulaciones considere un máximo de 50 iteraciones.

Analice los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones realizadas y compare los tiempos de respuesta y las oscilaciones en régimen permanente en cada uno de los casos. Concluya sobre la robustez del sistema, los métodos de des-difusión, entre otros.

## 5. OPCIONAL

La parte opcional da la posibilidad de subir el puntaje obtenido en la parte obligatoria del proyecto, para la realización de ésta se deben realizar los mismos análisis de la parte anterior (no existe plazo extra para la entrega del opcional del proyecto).

- Realice las simulaciones con un modelo de planta algo más complejo y realista:

$$\Delta P(z) = \frac{K z}{z - c} \Delta H(z)$$

en que  $c = e^{-a\Delta T}$  es una constante que depende de la ubicación del polo (Ud. escoja ese valor). Por razones de estabilidad,  $0 < c < 1$ .

De la expresión anterior se obtiene:

$$\begin{aligned} (z - c) \Delta P(z) &= K z \Delta H(z) \\ \Delta P(z) - c \Delta P(z^{-1}) &= K \Delta H(z) \\ \Delta P(z) &= K \Delta H(z) + c \Delta P(z^{-1}) \end{aligned}$$

es decir

$$\Delta P(t) = K \Delta H(t) + c \Delta P(t-1).$$

Para hacer estas simulaciones debe actualizarse tanto P como H (en el caso anterior sólo se hacía con P). También debe especificar la condición inicial para  $\Delta H(0)$ . Repita las simulaciones para los tres casos dados en la sección 4; construya gráficos de  $P(t)$  vs.  $t$  y muestre las trayectorias en el mapa de reglas.

¿Cambia la trayectoria de control en el mapa de reglas al utilizar este modelo de planta para los casos anteriores?

- b) Proponga cambios relevantes en la base de conocimientos para mejorar el desempeño del CLD (agregando o modificando dos o más reglas). Repita las simulaciones para los tres casos dados en la sección 4; construya gráficos de  $P(t)$  vs.  $t$  y muestre las trayectorias en el mapa de reglas. Analice el efecto de los cambios introducidos, en términos del transiente y del estado estacionario
- c) Proponga y realice otras simulaciones que permitan enriquecer la discusión del problema

## 6. INFORME

Ud. debe entregar un informe que incluya un pequeño resumen del proyecto y resultados obtenidos al comienzo (abstract), un índice, una corta descripción del proyecto (aspectos teóricos utilizados para la realización del proyecto), los supuestos considerados por Ud., los resultados de todas las tareas, y una sección de discusión y conclusiones. En forma anexa al informe entregue un listado (hard copy) del código fuente, implementado por Ud., y una copia del código fuente (soft copy), con comentarios. El plazo de entrega vence el martes 12 de mayo de 2020, a las 23:59 hrs a través del portal Ucursos.

No entregue tablas sin ningún tipo de análisis, los gráficos, figuras y tablas deben ser numerados y llevar un título autoexplicativo. En caso de impresiones en blanco y negro realizar gráficos y figuras que puedan ser discriminados fácilmente. Recuerde que se evalúa la calidad y no la cantidad. No incluir códigos fuentes en el cuerpo del informe, incluir esta información como parte de un anexo.

Puede utilizar cualquier lenguaje de programación para implementar el proyecto: Matab, R, Python, etc. Si va a utilizar algún Toolbox entienda el procedimiento realizado ya que el Proyecto se evalúa en los controles y el examen del urso.

**CHB (Adaptado de Bonissone PA#2(1990))**