

# INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL CONTROL

## Tema 4: Control con Lógica Fuzzy

Dpto.: Arquitectura de Computadores y Automática  
Autor: Matilde Santos



## 4.3 CONTROL BORROSO

2



## CONTROL FUZZY

- Control organizado en reglas, cuyas acciones están diseñadas para parecerse a las acciones de un operador humano
  - Método directo de traducción del conocimiento cualitativo en algoritmos de ordenador

3



## ¿CUÁNDO PENSAR EN LÓGICA FUZZY PARA CONTROL?

- Procesos complejos y mal definidos
  - Dificil estimación de los parámetros del proceso
  - Dificil medición del valor de las variables a controlar
  - Medidas de sensores no fiables
  - Entornos variables, con ruido, etc
- Constantes de tiempo relativamente altas (0.1 s o más)
  - Ancho de banda bajo (10.0 Hz o menor)
- No existe modelo analítico y la identificación de un modelo experimental no es posible
- Experiencia del control por un operador humano disponible y se puede expresar con reglas lingüísticas y términos fuzzy

4



## ¿QUÉ APORTA LA LÓGICA FUZZY AL CONTROL?

- Inteligencia para la toma de decisiones y la supervisión
- Experiencia del operador
- Controladores no lineales
- Tratamiento de la información imprecisa
- Tratamiento simple de sistemas complejos

5



## VENTAJAS DEL CONTROL BORROSO

- No es necesario un modelo analítico del sistema
- Implementación simple (no conocimiento profundo de control)
- Mantenimiento fácil, coste no elevado
- Potencia de procesamiento con un número reducido de variables y reglas
- Acción de control suave y continua
- Robustos
- Integración con otras técnicas

6



## INCONVENIENTES DEL CONTROL FUZZY

- Difícil estudiar su estabilidad
- Imprescindible un experto que suministre su conocimiento
  - Difícil de obtener
  - Difícil de representar sin empobrecerlo
  - Incoherencias
- Elevado número de parámetros (relacionados)
- No metodología general de diseño
- No procedimientos sistemáticos de sintonía

7



## PASOS

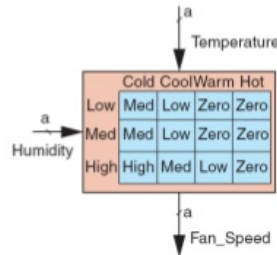
- Conjunto de reglas de control lingüístico con variables borrosas como condiciones y acciones
- Conjunto de funciones de pertenencia para las variables de entrada y salida
- Aplicar la "AND" (típicamente *min*) y la "implicación difusa" (típicamente *min*) a cada regla, y obtener una función de pertenencia multi-variable para cada regla (relación difusa  $R_i$ )
- Combinar (agregar) las relaciones  $R_i$  usando las conectivas borrosas (OR, típicamente, *max*) para obtener una relación multivariable borrosa total

8



## TEMPERATURE CONTROLLER

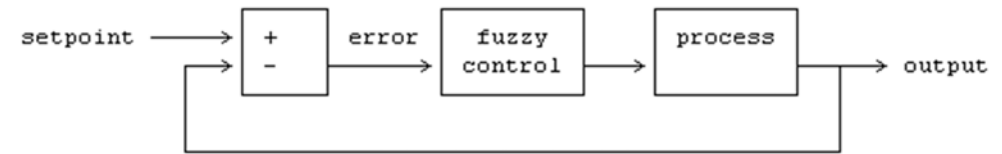
- The problem
  - Change the speed of a heater fan, based off the room temperature and humidity.
- A temperature control system has four settings
  - Cold, Cool, Warm, and Hot
- Humidity can be defined by:
  - Low, Medium, and High
- Using this we can define the fuzzy set.



9



## CONTROLADOR FUZZY-PD



Entradas:

- error  $e(t)$
- cambio en el error  $ce(t)$

Salida:

- control  $u(t)$

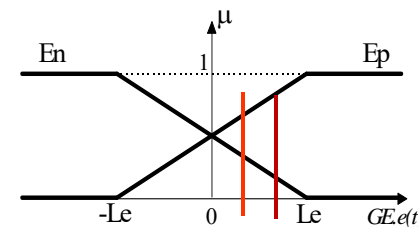


## CONTROLADOR FUZZY-PD

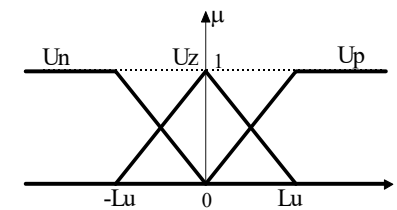
- Variables lingüísticas: error, cambio en el error, control
  - Universo de discurso (dominio o rango)
- Conjuntos borrosos:
  - Etiquetas
    - P: positivo, Z: cero, N: negativo
  - Funciones de pertenencia (MF)
    - Triangulares, trapezoidales, gaussianas
- Estrategia de fuzzificación
- Inferencia
- Estrategia de defuzzificación



## FUZZIFICACIÓN VARIABLES



No. MF  $e = \text{No. MF } ce = 2$   
 $Le = Lce = 10$



No. MF  $u = 3$   
 $Lu = 10$

$e(t) = 3 \Rightarrow 0.6 \text{ Ep}, 0.4 \text{ En}$        $ce(t) = 6 \Rightarrow 0.8 \text{ CEp}, 0.2 \text{ CEn}$

Mediante un fuzzy singleton (línea vertical) se asigna un valor dado por el grado de pertenencia a cada MF



# REGLAS BORROSAS

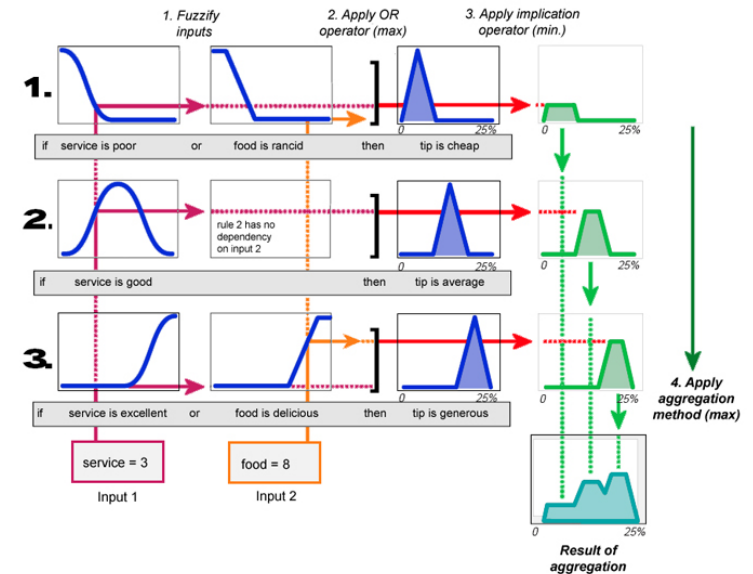
- R1: **si** e es P **y** ce es P **entonces** U es P
- R2: **si** e es P **y** ce es N **entonces** U es Z
- R3: **si** e es N **y** ce es P **entonces** U es Z
- R4: **si** e es N **y** ce es N **entonces** U es N

$e(t)$	$y$	$ce(t)$	$U$
0.6Ep		0.8CEp	0.6Up
0.6Ep		0.2CEn	0.2Uz
0.4En		0.8CEp	0.4Uz
0.4En		0.2CEn	0.2Un

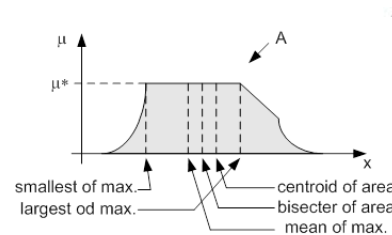
13



# AGREGACIÓN



# DEFUZIFICACIÓN



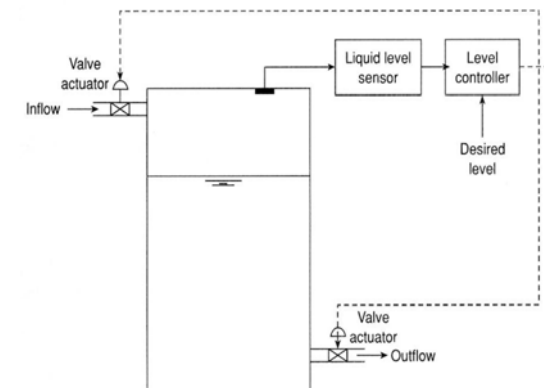
$$u_L(t) = \sum_{Nu} u_k p_k = U_p.Lu + U_z.0 + U_z.0 + U_n(-Lu)$$

$$0.6 \times 10 + 0.2 \times 0 + 0.4 \times 0 + 0.2 \times (-10) = 4$$

$$u_{COA}(t) = \frac{\sum_{Nu} u_k p_k}{\sum_{Nu} u_k} = \frac{4}{0.6 + 0.2 + 0.4 + 0.2} = 2.857$$

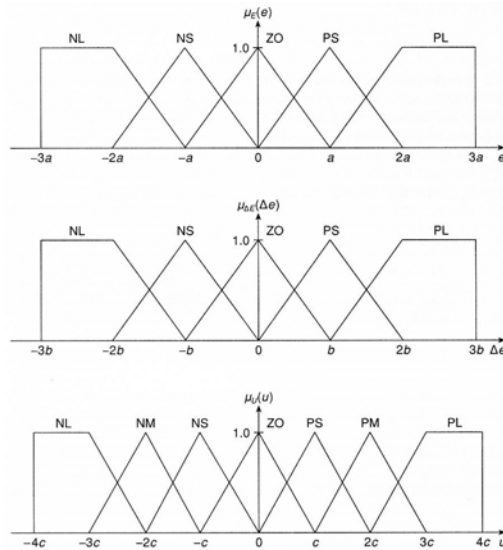
# CONTROL DEL NIVEL DE UN DEPÓSITO

- Error (corrección)
  - $e$  = nivel deseado – nivel actual
- Cambio en el Error
  - $de$
- Acción de Control =  $u$ 
  - $u > 0 \Rightarrow$  abrir válvula entrada
  - $u < 0 \Rightarrow$  abrir válvula salida





# CONJUNTOS BORROSOS

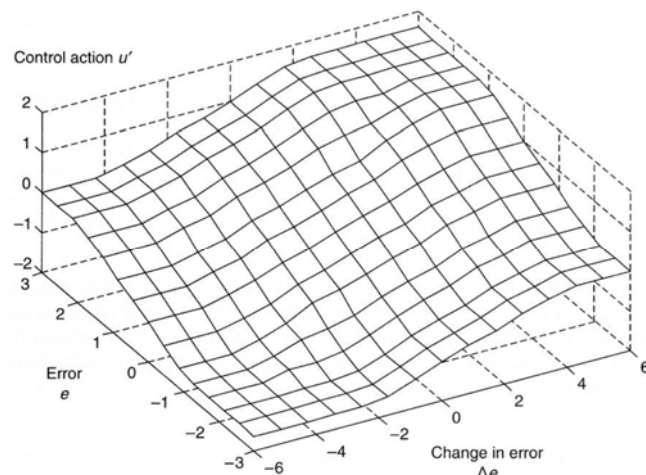


# REGLAS BORROSAS (FAM)

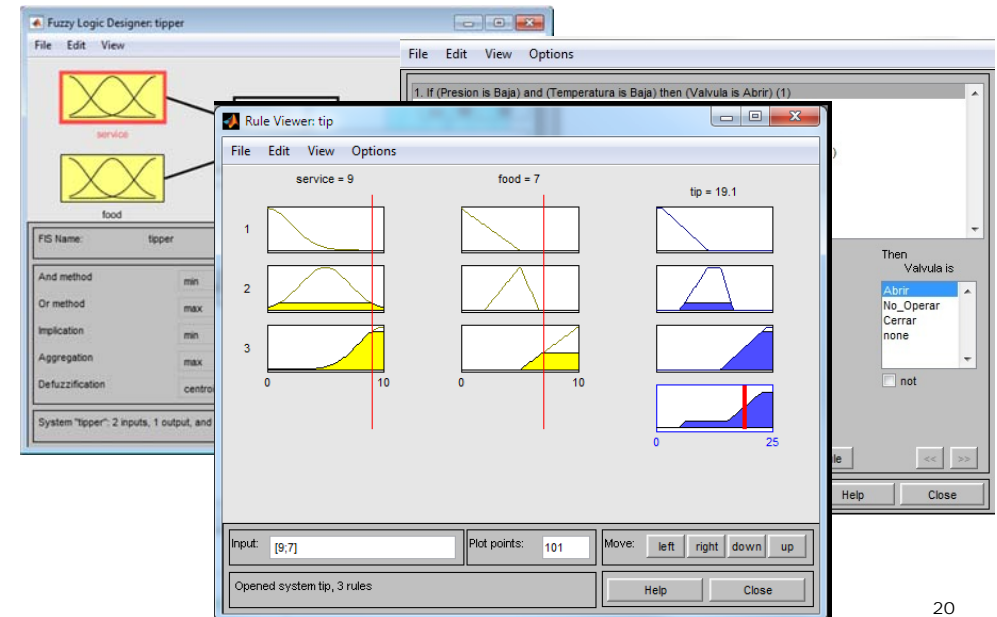
$\Delta E \backslash E$	NL	NS	ZO	PS	PL
NL	NL	NL	NM	NS	ZO
NS	NL	NM	NS	ZO	PS
ZO	NM	NS	ZO	PS	PM
PS	NS	ZO	PS	PM	PL
PL	ZO	PS	PM	PL	PL



# SUPERFICIE DE CONTROL

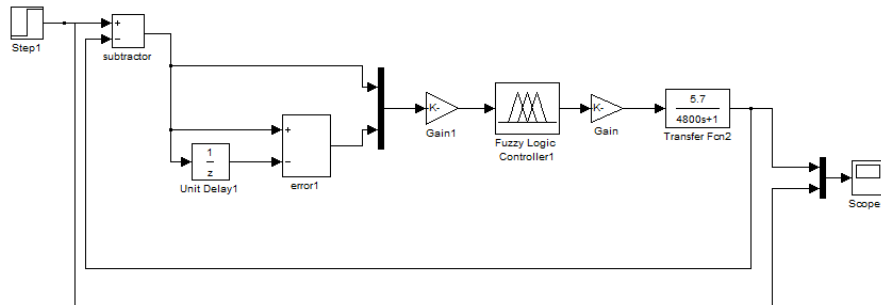


# FUZZY GUI MATLAB





# CONTROLADOR FUZZY SIMULINK



## ■ SISTEMA DISCRETO

### ■ Aproximación de la derivada

- $de = e(t-1) - e(t)$
- $de = e(t) - e(t-1)$