

REGULADOR NEURO-FUZZY

Yolanda Llosas Albuerne, Jorge Pardo Gómez, Mónica Mulet Hing
Universidad de Oriente

En los últimos años es notable el crecimiento del empleo de la inteligencia artificial y los sistemas expertos en el control de procesos industriales. Dentro de este campo de la inteligencia artificial se encuentran sistemas de control que utilizan las redes neuronales y la lógica fuzzy.

En el presente trabajo se combinan ambas técnicas con el objetivo de diseñar e implementar un regulador neuro-fuzzy utilizando el algoritmo de backpropagation en el aprendizaje o entrenamiento de la red neuronal empleada, para ser aplicado en el horno de precalentamiento de la Refinería "Hermanos Díaz" de Santiago de Cuba.

Palabras clave: redes neuronales, lógica fuzzy, control de procesos, regulador neuro-fuzzy.

It is remarkable the growth of the use of artificial intelligence and the expert systems in the control of industrial processes during the last years. Within this field of the artificial intelligence there are control systems that use the neural networks and the fuzzy logical.

The present work combines both techniques so as to design and implement a neuro-fuzzy regulator in which the algorithm of backpropagation is used in the learning or training of the neural network for its applications in the warm-up furnace of the Refinery "Hermanos Díaz" from the city of Santiago de Cuba.

Key words: neural networks, fuzzy logical, processes control, neuro-fuzzy regulator.

Desarrollo

En este trabajo, enmarcado en el campo de las técnicas inteligentes, se complementan técnicas y métodos cuya combinación (sistema neuro-fuzzy) resuelve con mayor facilidad un problema que empleando enfoques excluyentes.

Para la implementación de nuestro sistema se utilizó el lazo de control que gobierna la temperatura de precalentamiento del petróleo del horno F-101, desarrollándose una comparación entre un regulador PID, un regulador neuronal propuesto con anterioridad y nuestra propuesta del regulador neuro-fuzzy, analizando comparativamente la velocidad de respuesta del sistema, así como el aumento del grado de decisión cuando existe incertidumbre.

El proceso posee una lenta respuesta de temperatura, caracterizada por una respuesta con un tiempo de establecimiento significativamente grande.

A partir de esta situación, nos planteamos la necesidad de un pre-procesamiento difuso, basándonos en lo sugerido por L. A. Zadeh, "a medida que la complejidad aumenta, nuestra habilidad para hacer proposiciones significativas

sobre nuestro comportamiento disminuye, hasta llegar a un umbral, donde pasado el mismo, la relevancia y precisión se convierten en características mutuamente exclusivas".

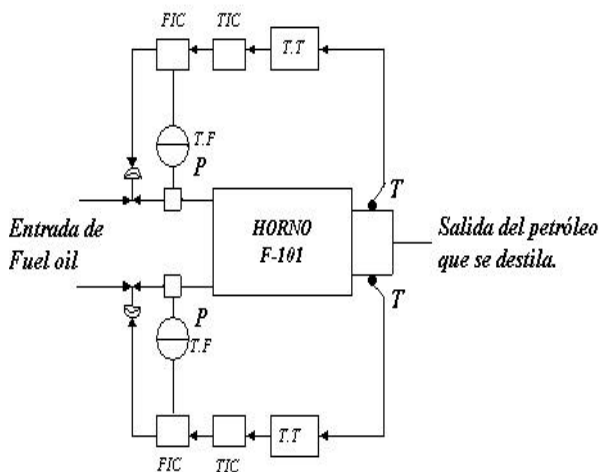


Fig. 1 Esquema del control del horno F101.

Se asume entonces que en el sistema propuesto (figura 1), la temperatura de salida de precalentamiento de petróleo que sale del horno F-101 puede ser definida por tres categorías

lingüísticas generales: Baja (FB), Media (FM), Alta (FA). Se pueden seleccionar otras categorías, pero para simplificar nuestro sistema escogimos sólo tres.

La figura 2 muestra la función característica para los antecedentes de las reglas difusas SI-ENTONCES definidas. Éstas representan los términos difusos empleados para describir los valores de temperatura de salida del horno. Las líneas punteadas representan el máximo ancho de banda tolerable de la etiqueta correspondiente, mientras las líneas normales corresponden a la configuración inicial al comenzar el funcionamiento del sistema. El eje vertical identificado como u , define el grado de pertenencia de 0 a 1, y el eje horizontal el valor lingüístico de temperatura. En la implementación el eje horizontal está definido en un rango normalizado entre 200-400 debido a la simulación efectuada (a partir de 200), teniendo en cuenta que la temperatura por controlar varía entre 270 y 300 °C.

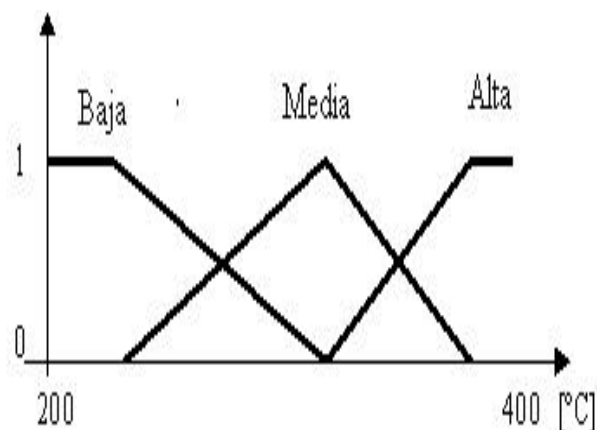


Fig. 2 Conjuntos fuzzy que describen el comportamiento de la temperatura.

Ahora bien, las redes neuronales poseen una manera de aprender y crear la función característica de un sistema basado en pares de entrada-salida conocidas, esto significa que se puede tratar nuestro conjunto "temperatura de salida" como una caja negra con comportamiento funcional conocido parcialmente por nuestra intuición y experiencia sobre datos visibles. En otras palabras, se puede enseñar a la red neuronal cómo comportarse cuando es confrontada con nuevas y desconocidas informaciones de entrada,

lo cual significa que las redes neuronales facilitan la interpolación entre pares entrada-salida.

Otra consideración importante en el uso de las redes neuronales está dada en el hecho de que cualquier función $f_e = R_p \rightarrow R_q$ donde $p \geq q$, es considerada como extractora de características cuando es aplicada a x . Por tanto, las redes neuronales y las inferencias difusas pueden considerarse como extractoras de características muy apropiadas.

La configuración de la red neuronal *feedforward* multicapas empleada es:

- máximo de neuronas: 13
- neuronas extra: 2
- máximo de neuronas en el nivel oculto: 6
- máximo de neuronas en el nivel de salida: 1
- máximo de neuronas en el nivel entrada: 4

La cantidad de neuronas ocultas se determina por prueba y error. Las del nivel de entrada por el número de entradas utilizadas, en este caso el error y esa misma variable uno, dos y tres pasos anteriores.

La implementación propuesta es dada por una red con entradas fuzzificadas, que sirve como controlador directo (ver figura 3), que recibe como entrada el error del vector de estado T de la planta.

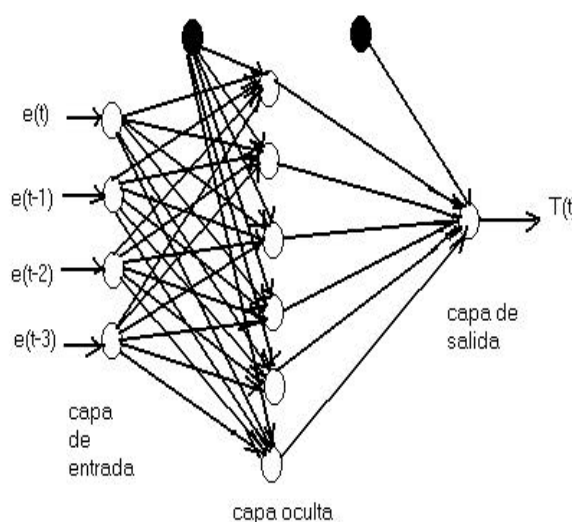


Fig. 3 Estructura de la red *feedforward* de tres capas empleada en el regulador neuro-fuzzy.

A cada uno de los conjuntos fuzzy se le hace

corresponder patrones binarios que serán la entrada a la red.

La red neuronal a su vez, calcula la salida que no es más que la acción de control codificada. Después de pasar por el bloque 2, se convierte en la señal de control u . La función de activación de las neuronas es una sigmoide.

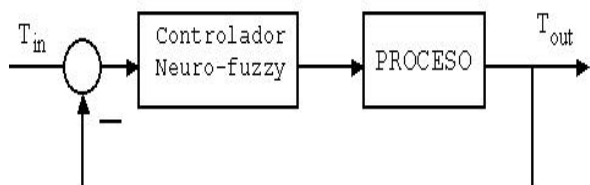


Fig. 4 Configuración del controlador directo.

Se puede apreciar, a partir de la configuración planteada (figura 4), que la respuesta en el tiempo obtenida presenta una palpable disminución en el valor del tiempo de establecimiento, característica muy codiciada en este tipo de sistema.

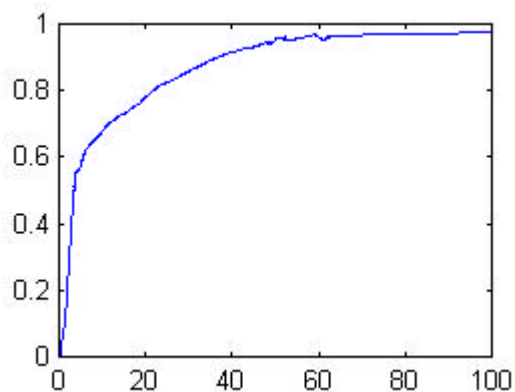


Fig. 5 Respuesta para el controlador PID.

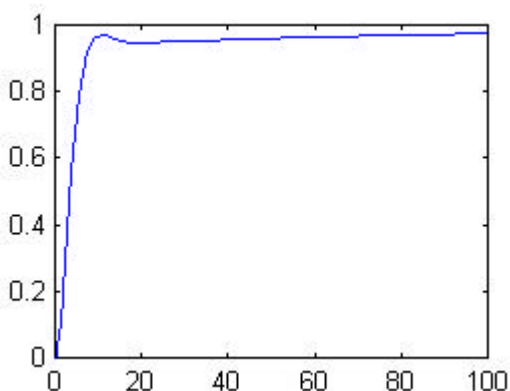


Fig. 6 Respuesta para el controlador neuronal.

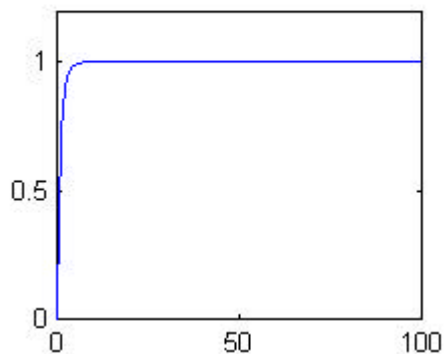


Fig. 7 Respuesta para el controlador neurofuzzy.

Los resultados del criterio ITAE (Integral del Error Absoluto por el Tiempo), se muestran a continuación, corroborándose que el mejor comportamiento lo tiene el regulador neurofuzzy, por lograrse el indicador menor.

PID -----	161,87
Neuronal -----	50,220 5
Neurofuzzy -----	20,21

La implementación fue realizada en el MATLAB, empleando para el entrenamiento el *Backpropagation* con función de activación sigmoide. El error total fue prefijado en 0,01 y a las 492 iteraciones, la salida de la red convergía al valor deseado.

Además, este regulador neurofuzzy brinda la oportunidad de efectuar el control para diferentes valores de temperatura en la referencia, en dependencia de la calidad del petróleo combustible que se está trabajando y de los productos que se desean obtener en la torre de destilación. Estos valores son 270, 290, 310, 330 y 350 °C, obteniéndose para cada uno de ellos respuestas en el tiempo muy aceptables, empleando solamente trece patrones en el aprendizaje y aumentando la velocidad de respuesta del sistema.

Conclusiones

El empleo de la lógica difusa a la entrada de nuestra red neuronal consta de tres particiones borrosas, las que permiten aumentar la velocidad de respuesta del sistema, simplificar la información que es presentada a la red y aumentar la robustez del sistema.

Nuestro diseño emplea cuatro neuronas de entrada y una neurona en la capa de salida.

Obtenidos los resultados con el regulador neurofuzzy propuesto y comparándolos con el neuronal, se evidencia la eficiencia del algoritmo de control basado en sistemas neuro-fuzzy.

En este sistema propuesto, resulta de relevante importancia el posibilitar la reducción del número de patrones de la red neuronal, con lo que puede reducirse el número de neuronas necesarias a la entrada de la red, propiciando el aprendizaje más rápido de la misma.

La respuesta transitoria del sistema con el regulador neurofuzzy muestra un mejor tiempo de establecimiento, comprobando lo escrito en la literatura especializada sobre las envidiables ventajas de este regulador.

Bibliografía

- Gilli, M., "Stability of Cellular Neural Network and Delayed Cellular Neural Networks with Non Positive Templates and Non Monotonic Outant Functions", en IEEE Transactions on Circuits and Systems Fundamental Theory and Applications, vol. xli, núm. 3, March, 1994.
- Haber, R., Curso de control borroso, Reporte Interno, Universidad de Oriente, 1991.
- Jones, W. P.; Jusia, H., H., "Back Propagation, a Generalized Delta Learning Rule", en Byte, October, 1987.
- "Comments on Necessary and Sufficient Condition for Absolute Stability of Neural Networks", en IEEE Transactions on Circuits and Systems Fundamental Theory and Applications, vol. xlii, núm. 8, August.
- Proceedings of the 2nd International Conference on Fuzzy Logic and Neural Networks Fuzzy Logic Systems Institute, Iizuka, Fukuoka, Japón, 1992.
- Sánchez, E.; Vega, V., "Stability Analysis for Neurofuzzy Controllers" AMCA/IEEE International Workshop on Neural Networks Applied to Control and Image Processing, 1994.
- Takagi, T.; Sugeno, M., Derivation of Fuzzy Rules from Human Operator's Control Actions", Proceedings Symposium Fuzzy Information, Knowledge Representation and Decision Analysis, Marseille, 1983.
- Verdegay, J., Introducción al Control Difuso, Primer Congreso de la Asociación Colombiana de Automática, Memorias, 1994.
- Zadeh, L. A., "Fuzzy Sets", en Information and Control, August, 1965.

Copyright of Tecnología y Química is the property of Dirección de Información Científico-Técnico. The copyright in an individual article may be maintained by the author in certain cases. Content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.