

Implementación de un Sistema de Control con Microcontrolador Difuso

*M. en C. Romeo Urbieto Parrazales
Ing. Armando Morales
Ing. Marco Antonio Ramírez S.
Ing. María Elena Aguilar Jáuregui
Lab. de Sistemas Digitales (C.I.C.-IPN)*

*Dr. Adriano de Luca
Lab. Sistemas Digitales (CINVESTAV-IPN)*

Este artículo describe el diseño, simulación e implementación de un control inteligente, usando un microcontrolador difuso que contiene internamente (hardware) una máquina de inferencia. El diseño y la simulación de control determinaron una máquina de inferencia óptima de siete funciones de membresía y siete reglas del tipo **Si, Entonces**; usando métodos de sintonía, algoritmos genéticos y redes neuronales. Dicha máquina de inferencia se grabó en un microcontrolador fuzzy para su aplicación. La variable controlada fue la velocidad de un motor de c.d. de 1/8 de H.P. corriendo en el rango de 100 a 1725 r.p.m, lográndose una precisión de cinco milésimas a muy bajo costo.

INTRODUCCIÓN

La lista siguiente resume la evolución de las aplicaciones de Control Inteligente:

1974 Primeros trabajos por E. H. Mandani.

1982 Linkman diseña la primera aplicación industrial de control fuzzy.

1984 M. Togai y H. Watanabe generan la primer implementación en VLSI.

1987 T. Yamakawa desarrolla el primer controlador difuso de tipo analógico.

1988 M. Togai construye el primer procesador fuzzy digital.

Las aplicaciones de Control Inteligente se clasifican en cuatro categorías de velocidades: baja, media, alta y muy alta. La primera es una máquina de inferencia construida por software con un conjunto de instrucciones normales; en la segunda, el conjunto de instrucciones incluye instrucciones fuzzy dedicadas; en la tercera se encuentra una CPU soportada por un coprocesador difuso, mientras que la cuarta y última está formada por máquinas de inferencia difusas totalmente soportadas por hardware. En las tres primeras categorías, las máquinas de inferencia de control fuzzy se diseñan totalmente por software, siendo estos sistemas de control muy caros.

En la última categoría, la máquina de inferencia es un programa ejecutable (con extensión *.Hex) soportado completamente por el microprocesador, el cual ya no requiere de un gran tiempo de edición y compilación para la solución de control inteligente; esto

las convierte en soluciones rápidas y de fácil implementación para aplicaciones de control. Además, son muy económicos desde cualquier aspecto que se considere (espacio, uso, operación, mantenimiento, etc) [1].

Como antecedente al desarrollo de una aplicación en la última categoría, se implementaron en forma inicial tres máquinas de inferencia basadas en software (primera categoría), usando una computadora personal con tarjeta de conversión analógica a digital y digital a analógica.

El primer trabajo fue una máquina de inferencia de dos entradas y una salida; las entradas al controlador difuso fueron los errores de posición y de velocidad, respectivamente. Como salida se maneja el voltaje de la armadura del motor de c.d. La fuzzificación de las variables de entrada y salida tenía cada una cinco funciones de membresía, lográndose una base de conocimiento de veinticinco reglas del tipo **Si, Entonces**. Para sintonizar, se usó el método de Estructuras Variables, con lo que se ajustó hasta un total de once reglas [2] [3].

En el segundo trabajo se obtuvo la sintonía de la máquina de inferencia, también de once reglas **Si, Entonces**, mediante el método de algoritmos genéticos. Los datos de los algoritmos genéticos fueron:

población = 40
no. de cromosomas = 280
no. de variables = 7

iteraciones = 200
 error de acotación mínima = 6
 probabilidad de mutación = 0.1
 probabilidad de cruce = 0.75

Las funciones de membresía obtenidas fueron de forma caprichosa (triángulos irregulares) [4].

El tercer trabajo realizado empleó el método de programas evolutivos para encontrar los parámetros óptimos de control. Los parámetros fueron reglas de importancia (repetitivas) [5].

Después de haberse tenido éxito en el diseño y uso de máquinas de inferencia difusa por software, en la actualidad, y gracias al avance en la tecnología de circuitos VLSI (*Very Large Scale Integration*), se han desarrollado máquinas de inferencia difusa por hardware, como es el caso del microcontrolador AL220. Una ventaja de este dispositivo es que está dentro de la cuarta categoría de velocidades (mfips = mega inferencias fuzzy por segundo), siendo otras ventajas la incorporación de convertidores A/D y D/A y su facilidad de manejo.

DISEÑO

La **figura 1** es un diagrama a bloques del sistema de lazo cerrado de control que se implementará. El sistema es un controlador general que representa cualquier tipo de sistema, siendo en este caso un control de velocidad.

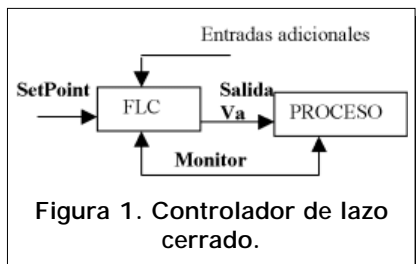


Figura 1. Controlador de lazo cerrado.

PROCESO

La **figura 2** muestra un modelo de sistema de proceso (motor de c.d. y tacómetro con sus interfaces electrónicas respectivas). El proceso es de una entrada - una salida.

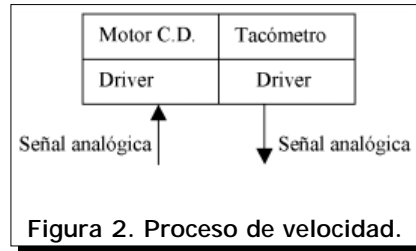


Figura 2. Proceso de velocidad.

CONTROLADOR FUZZY

La **figura 3** muestra un diagrama a bloques del controlador basado en un microcontrolador fuzzy, que incorpora la máquina de inferencia por hardware y convertidores A/D y D/A internamente [5].

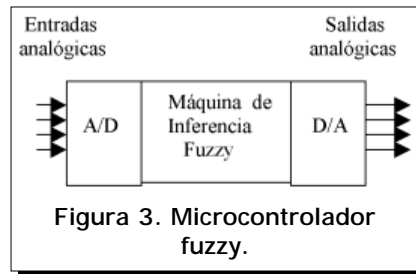


Figura 3. Microcontrolador fuzzy.

SIMULACIÓN

El objetivo de la simulación del sistema mostrado en la **figura 1** es encontrar la respuesta óptima. La simulación consiste de las siguientes partes: Estímulo, máquina de inferencia, base de conocimiento, y respuesta óptima de control.

- ESTÍMULO.

Se genera una tabla de valores de entrada (variable de velocidad), obtenida por el modelo de motor: $v(t) = K(1 - e^{-88t})$, donde K es la ganancia de velocidad del motor, y t es el tiempo.

- MÁQUINA DE INFERENCIA.

La máquina de inferencia está representada por las gráficas de fuzzificación de la variable medida (monitor) y la variable de salida (**figura 4**).

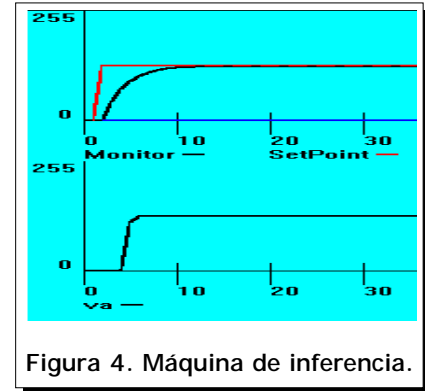
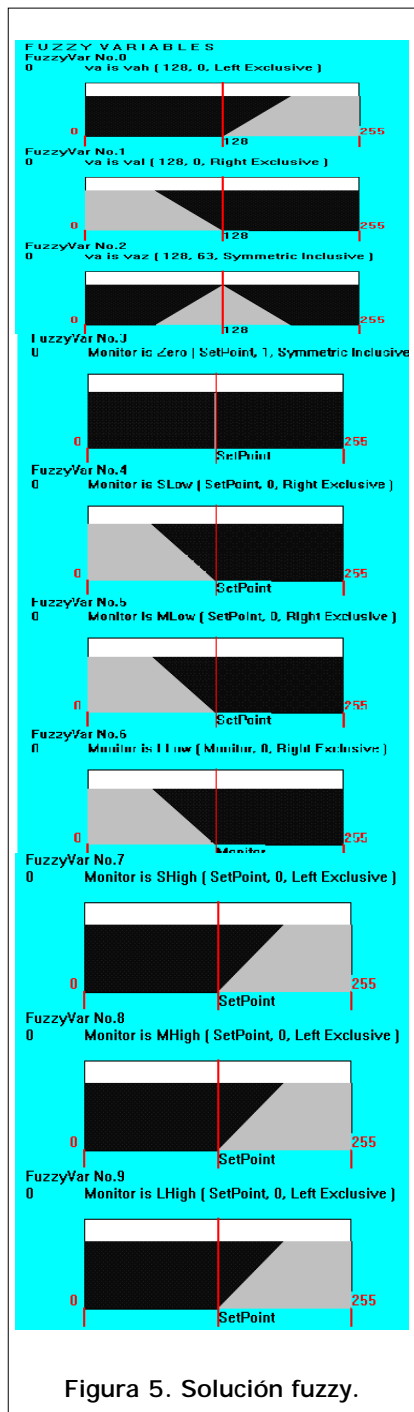


Figura 4. Máquina de inferencia.

- BASE DEL CONOCIMIENTO.

El experto determinado en la simulación quedó constituido por las reglas siguientes :

- Rules
- 0 If Monitor is Zero then va + 0
 - 0 If Monitor is LLow then va + 3
 - 0 If Monitor is MLow then va + 2
 - 0 If Monitor is SLow then va + 1
 - 0 If Monitor is LHigh then va + -3
 - 0 If Monitor is MHigh then va + -2
 - 0 If Monitor is SHigh then va + -1
 - 0 If va is vah then va = 130
 - 0 If va is val then va = 114
 - 0 If va is vaz then va = 129

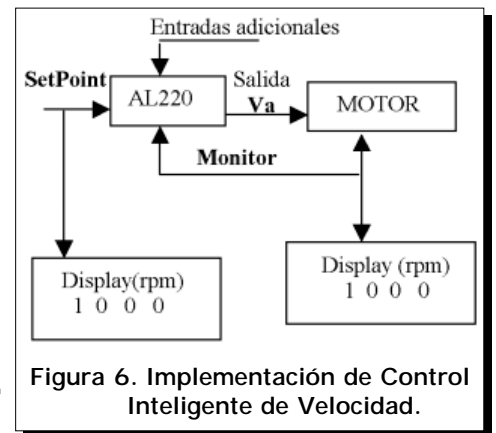


- RESPUESTA.

La solución de control fuzzy optimizada se muestra en la figura 5.

IMPLEMENTACIÓN

La implementación del sistema se indica en el diagrama a bloques de la figura 6.



REFERENCIAS

- [1] Abraham Kandel & Gideon Langholz. "Fuzzy Hardware Architectures and Applications". Cap.1 Kluwer Academic Publishers.1998.
- [2] Romeo Urbieto P. & Adriano de Luca. "Fuzzy Logic Controller Applied to C.D. Motor". 38th Midwest Symposium on Circuit and System. Rio de Janeiro. Brasil. 1995.
- [3] Shigeyasu Kawaji and Nobuto-mo Matsunaga. "Fuzzy Control of VSS Type and its Robudtness Fuzzy". Pag.226-242.Fuzzy System. 1993.
- [4] Romeo Urbieto Parrazales. "Optimización de Control Difuso Aplicando Algoritmos Généticos". Rev. Polibits. Vol. 1, num. 16. Sep-Dic.1995.
- [5] John Goddard, Romeo Urbieto P., Dr. Adriano de Luca. "Rule Learning in Fuzzy Systems Using Evolutionary Programs". 39th Midwest Symposium on Circuits and Systems. Iowa University. Pag. 1996.
- [6] Insigth II e. "Fuzzy Logic Developtment System for the Adaptive Logic family of Fuzzy Controllers". Oct. 1995.