

Diseño de controladores neuronales y difusos, basado en microcontrolador, mediante simulador ISIS

Cano-Morales J. Jesús

Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Resumen

El control inteligente, neuronal o difuso, es actualmente una de las áreas de ingeniería que más interés ha despertado en la comunidad científica-tecnológica, debido a que contribuye en gran manera a la optimización de diferentes procesos, altamente no lineales, ofreciendo ventajas tales como: precisión, adaptabilidad a entornos inciertos, tolerancia a fallas y perturbaciones. En el presente trabajo, se propone desarrollar dos metodologías: la primera basada en un Controlador Neuronal Auto-sintonizable (CNA), la segunda referente a un Controlador Difuso Programable (CDP); cada una embebida en un microcontrolador, utilizando como herramienta de diseño el simulador ISIS de Proteus®.

Los reguladores son empleados para controlar un horno virtual. Se realizó un estudio comparativo de respuesta asintótica y transitoria con relación al PID discreto. Los resultados muestran una alta confiabilidad del CNA y CDP que promedian: un error en estado estacionario de 0.08°C y 0.2°C, sobrepaso al escalón de 1.93% y 0.72%, sobrepaso a una perturbación de 0.57% y 0.62%, respectivamente; además el CNA presenta características notables de adaptación.

Palabras clave: Controlador Neuronal Auto-sintonizable, Controlador Difuso Programable, Simulador ISIS, Microcontrolador.

1. Introducción

Entre las técnicas de control clásico el PID de ganancia fija es, en muchos casos, la alternativa más idónea para regular sistemas dinámicos, debido a la rapidez de respuesta que proporciona; sin embargo tiende a degradarse con el paso del tiempo a consecuencia de cambios en el entorno, en ocasiones introduce oscilaciones cuando se presentan retardos

en la planta. El control inteligente es desarrollado como alternativa a las carencias del PID clásico, está conformado por el control neuronal, el control difuso, los algoritmos genéticos y la inteligencia artificial clásica. En la literatura es posible encontrar algunos trabajos relacionados: como el que desarrolla [1] relativo a un control difuso de temperatura para invernaderos; también es posible identificar procesos, para sintonía de controladores, utilizando redes neuronales [2]. La aplicación que presenta [3] implementa un CNA para el proceso de fabricación de fibra óptica polimérica sobre una plataforma LabView®.

Debido a la complejidad inherente en el desarrollo de sistemas de control inteligente, en el presente artículo se tiene como objetivo y contribución, proponer metodologías didácticas-alternativas de diseño, para aplicaciones virtuales que incluyen controladores neuronales y difusos, con ayuda del entorno de simulación ISIS; cada vez más utilizado en las universidades e industria por sus características gráficas y sencillez.

2. Desarrollo

2.1 Metodología del CNA

Rumelhart [4] redescubre el método de *retropropagación*, resolviendo las incapacidades iniciales de las redes neuronales y sugiere la regla delta generalizada para el entrenamiento de redes neuronales multicapa, que es una formalización canónica de la ley de aprendizaje por el descenso más rápido propuesta por Widrow y Hoff [5]. El algoritmo recibe tal nombre debido a que las derivadas del error se calculan en dirección opuesta a la señal de propagación. De las aplicaciones que se han hecho, sin duda, la relativa a identificación y control de procesos es de las más importantes en la industria. El CNA, que se muestra en la figura 1, ajusta de manera permanente el error de salida del proceso, por medio

de una estrategia de adaptación, no de entrenamiento, basada en *retropropagación*. Las entradas del CNA son errores $e_y(t)$ en diferentes estados de tiempo, se sugieren tres o cuatro. La salida del controlador es $u(t)$; w_{ij} , v_{jk} son los pesos sinápticos. La entrada al sistema es la referencia $y_r(t)$ y la señal medida $y(t)$.

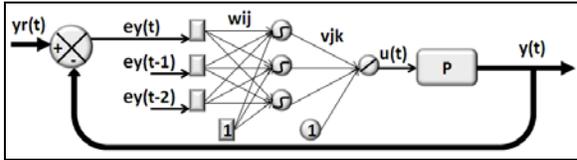


Fig. 1. Proceso regulado por un CNA.

Narendra y Parthasaraty [6] exponen las dificultades del enfoque directo por el desconocimiento del error de salida de la red o señal de control. Cui y Shin [7] demuestran que es posible, bajo ciertas restricciones, obviar tal paradoja.

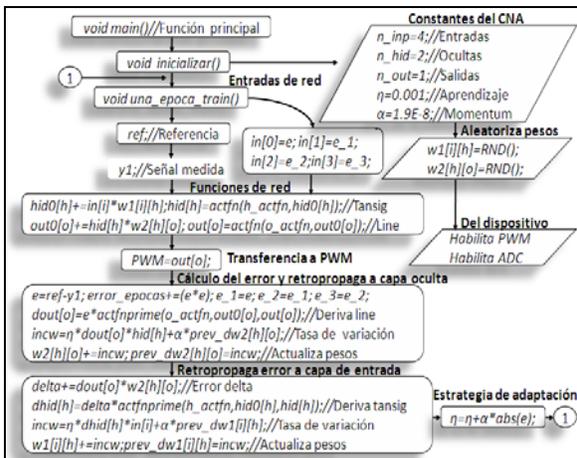


Fig. 2. Diseño del CNA en código CCS©.

Aguado [8] propone un algoritmo formal y funcional en un ambiente de tiempo real, con ejemplos. En la figura 2, se representa el diseño del algoritmo del CNA codificado en lenguaje CCS© para ser implementado en un *microcontrolador* y simulado en ISIS.

2.2 Metodología del CDP

El control difuso es independiente de la máquina a la que se aplica, facilita el diseño del regulador al no necesitar un modelo matemático de la planta.

De acuerdo con Ferreyra y Fuentes [9], en un modelo difuso el valor de la señal de medición, proveniente de los sensores, es convertido a un valor

difuso vía el proceso de **Fusificación**, donde se definen los rangos de cambio de las variables: error e y derivada del error de , respecto a sus funciones de membresía: negativo grande **NG**, negativo pequeño **NP**, cero **Z**, positivo pequeño **PP**, positivo grande **PG**, enseguida las funciones de membresía, de cada variable, son evaluadas mediante reglas lingüísticas, a través de la **Base de conocimiento**, mostrada en la tabla 1. Posteriormente la información de las funciones de membresía es comparada, por medio de un **Mecanismo de inferencia**, utilizando operadores lógicos o aritméticos; para determinar un grado de pertenencia o **peso**.

Tabla. 1. Base de conocimiento.

de	NG	NP	Z	PP	PG
e					
NG	NG	NG	NG	NP	Z
NP	NG	NG	NP	Z	PP
Z	NG	NP	Z	PP	PG
PP	NP	Z	PP	PG	PG
PG	Z	PP	PG	PG	PG

Finalmente se genera un valor de salida difuso transformado en un valor real, con el proceso llamado **Defusificación**.

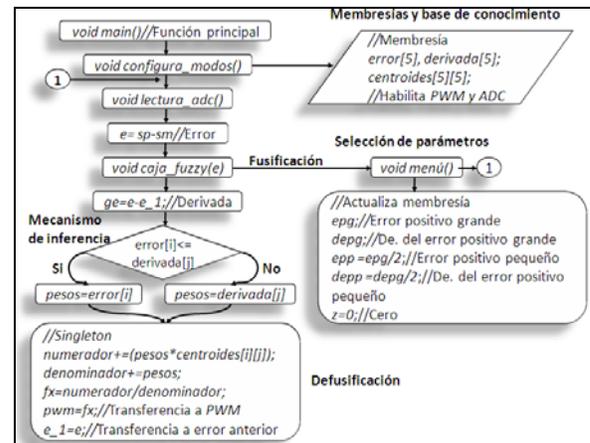


Fig. 3. Diseño del CDP en código CCS©.

En la figura 3 se muestra el diseño del algoritmo del CDP codificado en lenguaje CCS© para ser implementado en un *microcontrolador* y simulado en ISIS.

2.3 Implementación del CNA en ISIS

Se decide implementar el algoritmo del **CNA** en el *microcontrolador PIC18F4550*, a 20 Mhz, por su capacidad de memoria **RAM (Random Access**

Memory) y versatilidad, como se muestra en la figura 4.

Un potenciómetro de $1k\Omega$, conectado a la alimentación y tierra en sus extremos, se utiliza como la referencia **REF** del sistema a partir de su derivación central, hacia la terminal de conversión **A/D AN0** del *microcontrolador*.

Para la señal de retroalimentación se construye un acondicionador de señal formado por dos resistencias **R1** y **R2**, a manera de un divisor de voltaje con salida **y1** y hacia la central de conversión **A/D AN1**, debido a que la resolución de la terminal **T** del **HORNO** es de $1^\circ C/V$.

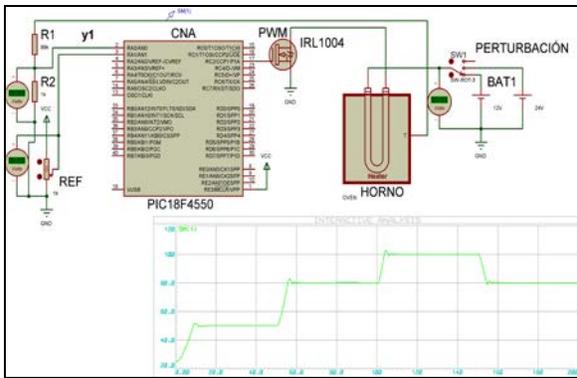


Fig. 4. Esquema del sistema de control con CNA.

La potencia hacia el calentador, parte de la terminal **17 CCP1** del *microcontrolador* en forma de **PWM** (*Pulse Width Modulation*) a un milisegundo en ciclo de servicio, habilita un *MOSFET* de alta potencia **IRL1004**; que a su vez activa la planta y la mantiene en el estado deseado de regulación. Se añade una fuente de alimentación **BAT1** de **12V** que alimenta al **HORNO** y otra llamada **PERTURBACIÓN** de **24V**, para realizar pruebas.

2.4 Implementación del CDP en ISIS

Se decide implementar el algoritmo del **CDP** en el *microcontrolador* **PIC18F4550**, a **4 Mhz**, por su capacidad de memoria **RAM** (*Random Access Memory*) y versatilidad, como se muestra en la figura 5.

Las constantes de los centroides, **epg** y **depg**, pertenecientes a las funciones de membresía pueden variar sintonizando el potenciómetro de $10k\Omega$ **SELECTOR**, conectado a terminal de conversión **A/D AN1**, adecuadamente; los valores son introducidos a través del potenciómetro de $10k\Omega$ **CONSTANTES PROG**, terminal de conversión **A/D**

ANO; ambas centrales pertenecientes al *microcontrolador*.

Se mueve el **SELECTOR** a la opción de actualizar y las nuevas constantes quedan almacenadas en una matriz.

Con el **SELECTOR** se puede sintonizar la opción de pantalla principal, en donde los datos relativos al error, la derivada del error, así como la magnitud del **PWM** son desplegados en **PANTALLA**.

Un potenciómetro de $1k\Omega$, conectado a la alimentación y tierra en sus extremos, se utiliza como la referencia o consigna **SP** del sistema a partir de su derivación central, hacia la terminal de conversión **A/D AN2** del *microcontrolador*.

Para la señal de retroalimentación se construye un acondicionador de señal formado por dos resistencias **R1** y **R2**, a manera de un divisor de voltaje con salida **SM** y hacia el canal de conversión **A/D AN3**, debido a que la resolución de la terminal **T** del **HORNO** es de $1^\circ C/V$.

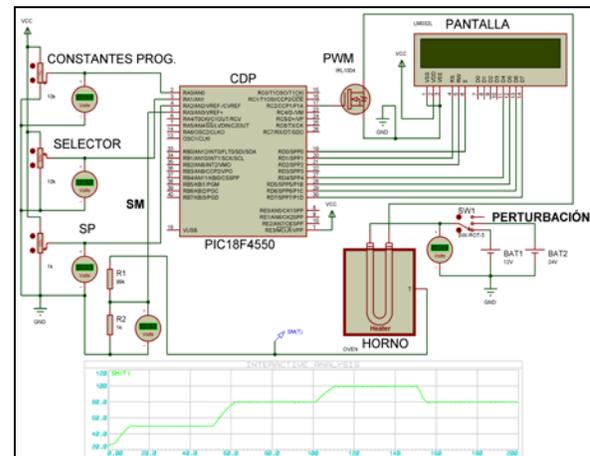


Fig. 5. Esquema del sistema de control con CDP.

La potencia hacia el calentador, parte de la terminal **17 CCP1** del *microcontrolador* en forma de **PWM** (*Pulse Width Modulation*) a un milisegundo en ciclo de servicio, habilita un *MOSFET* de alta potencia **IRL1004**; que a su vez activa la planta y la mantiene en el estado deseado de regulación. Se añade una fuente de alimentación **BAT1** de **12V** que alimenta al **HORNO** y otra llamada **PERTURBACIÓN** de **24V**, para realizar pruebas.

Para la obtención de las señales generadas por cada regulador, se utiliza la herramienta

INTERACTIVE ANALYSIS, del icono **GRAPH MODE**; se define la sonda de temperatura **SM** y el tiempo de la aplicación.

Las características de la planta y sintonía del **PID** discreto, para realizar pruebas, pueden encontrarse en [10].

3. Análisis de resultados

Se aplican diferentes escalones de referencia al sistema, utilizando el CNA y CDP.

El regulador **PID** discreto es muestreado a cien milisegundos, de acuerdo con el criterio de *Nyquist*.

A los ochenta segundos se introduce una perturbación al sistema. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la gráfica de la figura 6.

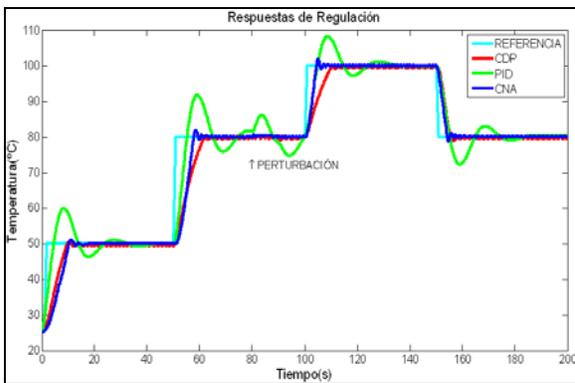


Fig. 6. Respuestas obtenidas de la planta regulada.

Se guarda la información (muestras) en archivos de texto. Los archivos generados pueden ser abiertos y analizados con ayuda de *Matlab*®.

Tabla. 2. Mediciones obtenidas.

Medida	Tiempo de respuesta tr (s)			Sobrepaso Mp (%)			Error en estado estable (°C)			Perturbación Mp (%)		
	CDP	PID	CNA	CDP	PID	CNA	CDP	PID	CNA	CDP	PID	CNA
50°C	9.72	4.57	10.33	1.0	19.38	2.36	0.2	0.04	0.01	-	-	-
80°C	61.78	55.28	57.85	0.25	14.8	2.27	0.1	1.69	0.05	0.62	7.75	0.57
100°C	110.5	104.9	104.5	0.25	8.4	1.8	0.3	0.2	0.1	-	-	-
80°C	155.8	155.2	154.2	1.37	9.67	1.3	0.2	0.28	0.16	-	-	-
Media	84.45	80	81.7	0.72	13.19	1.93	0.2	0.55	0.08	0.62	7.75	0.57

La comparación de las mediciones de estado estacionario y transitorio, para los reguladores utilizados en el análisis, se enlistan en la tabla 2.

4. Conclusiones

De acuerdo con los datos recabados de las mediciones, respecto a la regulación de la planta, el CNA es en promedio más exacto, en relación al estado asintótico, que el CDP y PID.

Cuando el sistema es sujeto a perturbaciones, el CNA y CDP, básicamente permanecen inmutables, robustos respecto a cambios en el entorno. La respuesta más rápida se obtiene con el PID discreto muestreado a cien milisegundos, por lo menos en los primeros escalones. Se puede apreciar que con el paso del tiempo el CNA se va adaptando (en línea) y respondiendo de manera eficiente a los cambios, con respecto a sus adversarios, el CDP se alenta un poco.

El transitorio es mayormente amortiguado con la utilización del CDP.

El entorno ISIS, es muy intuitivo en sus funciones, lo que facilita el diseño y simulación de aplicaciones automatizadas.

Referencias

- [1] Soto-Zarazúa, G., Herrera-Ruiz, G., Rico-García, E. "Variaciones en la temperatura de tanques acuícolas bajo invernadero por su posición interna", 5° Congreso Internacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería UAQ, pp. 638-647, Querétaro, 2009. ISBN 978-607-7740-13-1.
- [2] Cano-Morales, J., Osornio-Ríos, R., Domínguez-González, A., Romero-Troncoso, R., Cabal-Yépez, E., Morales-Velázquez, L. "Diseño de un identificador paramétrico, mediante redes neuronales artificiales, aplicado a robot PUMA", 6° Congreso Internacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería UAQ, pp. 1-10, Querétaro, 2010. ISBN 978-607-7740-39-1.
- [3] Fuentes-Silva, C., Noriega-Ponce, A., Ocampo-Mortera, M., Serroukh, I. "Control neuronal auto-ajustable en tiempo real de un proceso de producción de fibra óptica polimérica", Ingeniería, Investigación y Tecnología. FI UNAM, Vol. XIII, Núm. 2, pp. 175-184, 2012. ISSN 1405-7743.
- [4] Rumelhart, D., Hinton, G., Williams, R. "Learning representations by back-propagating errors", Nature. London, 1986.

- [5] Widrow, B., Hoff, M. “*Adaptive switching circuits*”, Neurocomputing. Ed. MIT Press, Cambridge, MA, 1960.
- [6] Narendra, K., Parthasaraty, K. “*Identification and Control of Dynamical Systems using Neural Networks*”, IEEE Transactions on Neural Networks. Vol. 1, Núm. 1, pp. 4-27, 1990. ISSN 1045-9227.
- [7] Cui, X., Shin, K. “*Direct Control and Coordination Using Neural Networks*”, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Vol. 23, Núm. 3, pp. 686-697, 1992. ISSN 0018-9472.
- [8] Aguado-Behar, A. “*Temas de Identificación y Control Adaptable*”, Instituto de Cibernética, Física y Matemática, Cuba, 2000. ISBN 959-7056-11-9.
- [9] Ferreyra, A., Fuentes, R. “*Estudio comparativo entre control PID y difuso*”, Congreso Nacional de Instrumentación, SOMI XV, 2000.
- [10] García, E. “*Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC*”, Alfaomega Grupo Editor, México, 1ª edición, 2008. ISBN 978-84-267-1495-4.