

## Libros y Monografías

En este número traemos a nuestra sección una obra sobre lógica borrosa que muestra una serie de aplicaciones muy interesantes en diversos campos como el procesamiento de imágenes, el control de vehículos, la robótica o la distribución y generación eléctrica. Aunque es un libro orientado a aplicaciones, también trata los conceptos básicos de la lógica borrosa. La recensión de este libro ha sido realizada por Aldo Cipriano, de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Animamos de nuevo a los lectores a enviar resúmenes de novedades, tanto de libros como de tesis doctorales recientes, y a solicitar recensiones de libros que consideren de interés para el área a través de la dirección de correo electrónico que figura a continuación.

Carlos Bordóns Alba  
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática  
Universidad de Sevilla  
[bordons@esi.us.es](mailto:bordons@esi.us.es)

### RECENSIÓN

#### *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications*

Ying Bai, Hanqi Zhuang y Dali Wang (editors)  
Springer (2006). ISBN: 978-1-84628-468-7. 334 páginas, 220 ilustraciones

Este libro, publicado en el año 2006, es uno más de la serie *Advances in Industrial Control* de Springer, cuyo objetivo es difundir y promover la transferencia tecnológica en Ingeniería de Control. Se inicia con la introducción primero de los editores de la serie, Michael Grimbly y Michael Johnson, y luego de los editores del libro. Grimbly y Johnson recuerdan que los trabajos pioneros de Lofti Zadeh sobre conjuntos borrosos son contemporáneos a los de Rudolf E. Kalman sobre estimación de estado y control óptimo, y plantean que cinco décadas después, el texto que se comenta es una revisión muy oportuna de la amplia gama de problemas que pueden resolverse con una metodología que está en constante evolución. A su vez, los editores destacan que el libro pretende combinar adecuadamente los fundamentos teóricos con la gran potencialidad que muestra el control basado en lógica borrosa (o difusa) para enfrentar problemas prácticos.

El libro consta de 21 capítulos, de los cuales los primeros cinco sintetizan los conceptos básicos y los 16 siguientes describen aplicaciones en procesamiento de imágenes, control vehicular, robótica, minería de datos, distribución y generación eléctrica, y manufactura. El capítulo 1, *From classic control to fuzzy logic control*, revisa el problema de control realimentado, el control PID, el control por modo deslizante, y el controlador borroso propuesto por Mamdani, destacando aspectos de diseño y robustez.

El capítulo 2 se titula *Fundamentals of fuzzy logic control - fuzzy sets, fuzzy rules and defuzzifications*. Cubre desde la definición de conjunto borroso hasta arquitecturas de control borroso, pasando rápidamente por todos los elementos involucrados en un sistema de control experto borroso: operaciones, funciones de pertenencia, fuzzificación y defuzzificación, y reglas de control. *Implementation of fuzzy logic control systems*, de los mismos autores, es el título del capítulo 3, una continuación y profundización del anterior. Se describen distintos métodos de fuzzificación y defuzzificación, el concepto de inferencia borrosa con las dos formas conocidas (Mamdani y Takagi-Sugeno-Kant), y variaciones del control borroso, por ejemplo adaptable. El capítulo incluye también una revisión de soluciones de software y hardware, entre ellos: plataformas de desarrollo (Fuzz-C, FuzzyTECH), microcontroladores (Motorola HC12 y ST) y coprocesadores (SGS-Thomson). Esta revisión, lamentablemente, no incorpora las plataformas de desarrollo de los sistemas de automatización más difundidos en la industria de procesos, por ejemplo los sistemas de control distribuido Expert Optimizer (ABB), Delta V (Emerson Process Management) y Experion (Honeywell).

Los capítulos 4 y 5 se centran en el diseño y la sintonía de sistemas basados en conocimiento borroso. El capítulo 4, *Knowledge-based tuning I: Design and tuning of fuzzy control with Bezier function*, describe una metodología que permite ajustar las funciones de pertenencia de un controlador experto empleando algoritmos genéticos. El capítulo 5, *Knowledge-*

based tuning II: -law tuning of a fuzzy lookup table plantea un nuevo método que puede aplicarse a diferentes formas de controlador PID borroso. Como ejemplo se presenta la sintonía de un sistema de seguimiento de un blanco situado en el extremo efector de un robot manipulador de 4 ejes Seiko RT 3200, que emplea tecnología laser para la medición. Este mismo ejemplo se profundiza en el capítulo 6, Apply a fuzzy logic controller to suppress noises and coupling effects for a laser tracking system. En este caso el sistema de control incluye un control en cascada, en el que el lazo interior es un controlador borroso tipo PI. El desempeño del controlador se evalúa comparándolo con un control PID convencional, considerando ruido de medición y perturbaciones que varían el modelo del sistema a controlar.

Los dos capítulos siguientes describen la aplicación de lógica borrosa en procesamiento de imágenes. En el capítulo 7 se presentan los conceptos fundamentales de imagen borrosa, operaciones en el dominio borroso, y fuzzificación, a lo cual siguen algunos ejemplos simples: binarización borrosa, determinación de esquina borrosa y medidas de geometría borrosa. Como ejemplo se compara la determinación del perímetro de un tornillo, empleando métodos convencionales y métodos basados en lógica borrosa, comprobándose que estos últimos son menos sensibles a las variaciones de la iluminación. En el capítulo siguiente, Fuzzy logic for medical engineering: an application to vessel segmentation, se presenta una muy interesante aplicación de lógica borrosa. El trabajo se inicia con una descripción detallada del problema y la aplicación de las técnicas de segmentación desarrolladas por Heneghan, Zana-Klein y otros autores, basadas en morfología matemática. A continuación se proponen variantes que integran estas técnicas con lógica borrosa, y se muestran ejemplos de su aplicación a la determinación de vasos sanguíneos en imágenes de fondo de ojo.

Los capítulos 9, 10 y 11 están dedicados a control vehicular. Primero se describe el Programa Autopia, en desarrollo en el Instituto de Automática Industrial del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, para a continuación presentar la aplicación del coprocesador borroso ORBEX (Experimental Fuzzy Coprocessor) al control automático y adaptable de velocidad de crucero. El controlador manipula la presión en la válvula de admisión de combustible empleando un controlador experto borroso. Las pruebas experimentales realizadas en vehículos de prueba muestran un comportamiento muy suave con errores de velocidad despreciables. El capítulo 10, Fuzzy logic control for automobiles I: Knowledge-based gear-position decision, describe una estructura jerárquica de tres niveles, Organizador, Coordinador y Ejecutor, la que se probó en el sistema de transmisión de un carro Shangai Santana 2000. El capítulo siguiente, Fuzzy logic control for automobiles II: Navigation and collision avoidance system, trata una aplicación clásica de control borroso: el retroceso en camiones con acoplado. Los resultados de simulación incluyen diferentes trayectorias, algunas en forma de laberinto.

En el capítulo 12, Fuzzy logic based control mechanisms for handling the uncertainties facing mobile robots in changing unstructured environments, se discuten primeramente esquemas de control borroso que se aplican en robótica móvil, para a continuación profundizar en esquemas de control basados en conjuntos borrosos tipo 2, en los cuales el grado de pertenencia de un elemento es un conjunto borroso, con lo cual las funciones de pertenencia son tridimensionales, lo cual proporciona grados de libertad adicionales para modelar incertidumbres. La aplicación a un robot de interior que evita obstáculos muestra importantes ventajas frente al control basado en conjuntos borroso tipo 1, que corresponden a los habitualmente utilizados. El capítulo siguiente, Combine sliding mode control and fuzzy logic control for autonomous underwater vehicles, describe primero los submarinos autónomos OEX desarrollados en la Florida Atlantic University; se trata de vehículos de 7,14 pies de largo y 21 pulgadas de diámetro, que pesan en el aire 714 libras. El sistema de control incluye controladores de avance y cabeceo y está basado en un algoritmo denominado Sliding Mode Fuzzy Control (SMFC) que evidencia un excelente desempeño en las pruebas experimentales realizadas.

Los capítulos 14, 15 y 16 presentan aplicaciones en control de vuelo. El capítulo 14, Fuzzy logic for flight control I: Nonlinear optimal control of helicopter using fuzzy gain scheduling, se inicia describiendo los modelos dinámicos no lineales del helicóptero Bo105, para a continuación presentar tanto el diseño de un regulador cuadrático que emplea el modelo linealizado como de un controlador basado en gain-scheduling y un modelo borroso de Takagi-Sugeno. Las simulaciones realizadas muestran un mucho mejor desempeño del controlador borroso. El capítulo siguiente, Fuzzy logic for flight control II: Fuzzy logic approach to path tracking and obstacle avoidance of UAVs, describe el problema de seguimiento de trayectoria y presenta una solución basada en reglas borrosas que hace uso de un modelo muy simple del vehículo. En el capítulo 16, Close formation flight control of multi-UAVs via fuzzy logic technique, se desarrolla una estrategia que emplea lógica borrosa para el control de una formación de dos aviones (Leader y Wingman). El control de velocidad del perseguidor se realiza con un controlador tipo Mamdani.

El capítulo 17 se titula Applications of fuzzy logic in data mining process. Se inicia con la presentación de las técnicas fundamentales en minería de datos: caracterización, discriminación, asociación, análisis basado en secuencia, clasificación, aglomeración (clustering), estimación, predicción, análisis de anomalías, evolución y análisis de desviación. A continuación se describe cómo aplicar los conceptos de lógica difusa en las diferentes fases del análisis de datos, para finalmente proponer un método para obtener las reglas de la base de conocimiento empleando minería de datos. También se discute el algoritmo de generación de reglas de Wang y Mendel y la utilización de algoritmos genéticos y técnicas heurísticas para análisis de dependencias.

Los dos capítulos siguientes están dedicados a aplicaciones en sistemas de potencia. En el capítulo 18, Fuzzy logic control for power networks: a multilayer fuzzy controller, se describe un controlador jerárquico de sistemas de potencia multimáquina, consistente en un nivel supervisor que especifica la región de operación de los controladores y un nivel de ejecución, con controladores de velocidad que presentan una estructura tipo PD borroso. La aplicación a dos sistemas de prueba, un sistema de 4 generadores y el denominado WSCC (Western Status Coordinating Council test system), muestra que con el controlador jerárquico se obtiene un importante mejoramiento de la estabilidad del sistema de potencia. El capítulo 19, Fuzzy predictive control for power plants, se inicia con la presentación de los fundamentos del control predictivo basado en modelo y de desarrollos realizados en control borroso de plantas de generación. A continuación, se plantean las ecuaciones de un controlador predictivo no lineal en que el modelo corresponde a un sistema experto borroso del tipo Takagi-Sugeno, se revisan diversas aplicaciones en centrales de generación, y se profundiza en dos: el control predictivo borroso supervisor de una caldera y el control predictivo de una central solar con objetivos y restricciones borrosas.

Los dos últimos capítulos describen aplicaciones de lógica borrosa en robótica y manufactura. El capítulo 20, Fuzzy logic for robots calibration-using fuzzy interpolation techniques in modeless robot calibration, revisa los métodos de interpolación borrosa tridimensional, y muestra, considerando distribuciones de error sinusoidales, normales y uniformes, que utilizando esta técnica es posible mejorar significativamente la calibración de un robot, en comparación con la utilización de interpolación lineal. La desventaja de la interpolación borrosa es la mayor complejidad computacional. El capítulo que cierra el libro tiene por título Fuzzy control on manufacturing welding systems: to apply fuzzy theory in the control of weld line of plastic injection-molding. En este ejemplo se ha desarrollado un sistema que toma en tiempo real una secuencia de decisiones lógicas en base a reglas borrosas del tipo Mamdani, acelerando significativamente en relación al método clásico de prueba y error.

Si bien el libro que se comenta no es adecuado para servir como único texto guía en un curso sobre teoría y fundamentos de lógica borrosa, sí puede utilizarse muy bien para mostrar casos concretos. Del título del libro cabría esperar que las aplicaciones correspondieran sólo a desarrollos en la industria. Sin embargo, aún cuando todas las aplicaciones tienen una motivación práctica, la mayoría de los resultados presentados provienen de investigaciones y trabajos de simulación. No obstante lo anterior, el libro editado por Bai, Zhuang y Wang constituye una demostración clara y actual del potencial tecnológico de la lógica borrosa.

**Aldo Cipriano**

Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
aciprian@ing.puc.cl