

Lógica Fuzzy: Principios y aplicación



□ Andrés Pérez U.
Estudiante del Plan de
Ingeniería Eléctrica
Universidad del Valle.

RESUMEN

Este artículo presenta una metodología de modelación de sistemas físicos reales mediante lógica Fuzzy, técnica programable que en vez de modelar el proceso, describe la forma de tomar decisiones para llevar a cabo el control del mismo; permitiendo que los sistemas de control actúen más adecuadamente

en procesos no lineales, al seguir un conjunto de reglas intuitivas o derivadas de la experiencia, las cuales le brindan al sistema la habilidad de "razonar" como un experto.

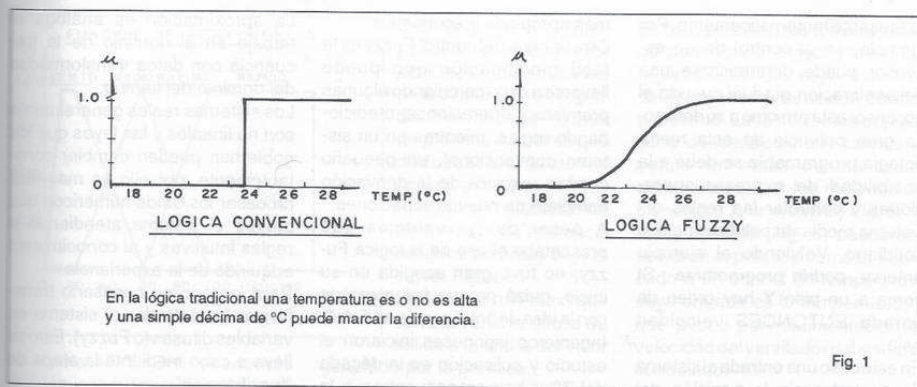
INTRODUCCION

A finales del siglo XIX el matemático alemán George Cantor inició el estudio y la aplicación de la Teoría de Conjuntos, punto de partida de la matemática moderna. A una colección de objetos se le llama conjunto, y los objetos individuales de dicha colección se dice que son elementos del conjunto o que pertenecen al conjunto.

En 1965, Lofti Zadeh, profesor de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación, de la Universidad de Berkeley, basándose en el trabajo de matemáticos de principios de siglo sobre lógica multivaluada introduce la Lógica Fuzzy (o Lógica Difusa) basada en una Teoría de Conjuntos Fuzzy, donde un elemento no necesariamente pertenece o no pertenece a un conjunto, sino que hay un continuo de "grados de pertenencia". Fig.1.

PRINCIPIOS BASICOS

El grado de pertenencia a un conjunto generalmente se asocia a la letra griega μ ; y puede tomar valores



entre 0 y 1 inclusive.

Esto se denota como: $\mu_A(x) \rightarrow [0,1]$ también se conoce como el "valor de verdad" porque representa el grado en que una proposición es verdadera.

La lógica convencional es un caso particular de la lógica Fuzzy, ya que al hacer un grado de pertenencia igual a 0 se indica una pertenencia nula o no pertenencia e igualando a 1 una pertenencia total. En la década del 60 se creía que en los años venideros el hombre llegaría a construir máquinas "pensantes", sin embargo, pasadas tres décadas no se ha podido cumplir con esta meta, y aún los computadores no logran simular el razonamiento de los humanos porque están facultados para trabajar con matemáticas precisas,

mientras el mundo real está lleno de imprecisión e incertidumbre.

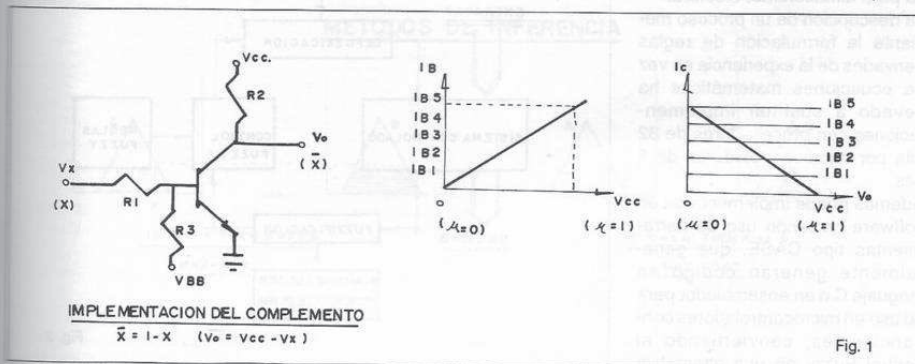
Este dilema puede afrontarse desde dos puntos de vista. Uno es asumir que el problema está en el método de control, y por tanto la solución es aplicar más matemática. El otro punto de vista consiste en aceptar que la matemática es el problema, y es allí donde aparece la lógica Fuzzy.

En efecto, la lógica Fuzzy encuentra que en el mundo real son muy escasos los conjuntos no Fuzzy o convencionales. Por ejemplo, el conjunto de los mamíferos encuentra un problema al tratar con el ornitorrinco. La lógica Fuzzy no tiene que tratar con este tipo de excepciones debido a que permite una pertenencia parcial a un conjunto.

SISTEMAS DE CONTROL FUZZY

A partir de la Teoría de Conjuntos se desarrolló la lógica binaria, soporte matemático de los sistemas digitales. Similarmente, de la Teoría de Conjuntos Fuzzy se han desarrollado sistemas de control electrónico, procesadores, coprocesadores, tarjetas y computadores. La implementación puede llevarse a cabo exactamente igual a la lógica binaria, teniendo en cuenta que en el diseño deben garantizarse características como en la Fig. 2.

Sistemas basados en lógica Fuzzy pueden controlar más adecuadamente procesos que estén gobernados por reglas intuitivas que difícilmente puede



expresarse matemáticamente. Por ejemplo, en el control de un ascensor puede determinarse una desaceleración gradual cuando el ascensor está próximo a su destino. La gran potencia de esta metodología programable se debe a la posibilidad de expresar operaciones y controlar las reglas del sistema mediante palabras de uso cotidiano. Volviendo al ejemplo anterior, podría programarse: Si cerca a un piso Y hay orden de parada ENTONCES velocidad baja.

En este caso una entrada al sistema de control sería la posición del ascensor, y como "cerca" es un conjunto Fuzzy, el valor de verdad de la premisa, y por tanto el de la velocidad varía de acuerdo a dicha posición.

La lógica Fuzzy remueve los altos contenidos de matemática y física de un proceso y va directo al nivel en que el sistema trabaja; esto permite aproximarse intuitivamente a la solución de un problema mediante la formulación de reglas.

La forma de expresar las reglas de operación mediante palabras permite controlar procesos sencillos con una decena de reglas, y procesos complejos con 30 o 40, reduciendo considerablemente la cantidad de código de programación, y por tanto el tiempo de diseño, el tiempo de desarrollo de un prototipo, la cantidad de memoria para almacenarlo, etcétera. La descripción de un proceso mediante la formulación de reglas derivadas de la experiencia en vez de ecuaciones matemáticas ha llevado a sustituir implementaciones con procesadores de 32 bits por microcontroladores de 8 bits.

Además puede implementarse en software haciendo uso de herramientas tipo CASE, que generalmente generan código en lenguaje C o en ensamblador para su uso en microcontroladores convencionales; convirtiendo al control Fuzzy en una alternativa

más apropiada y económica.

Otra ventaja del control Fuzzy es la fácil modificación que puede llevarse a cabo cambiando algunas premisas y operaciones, o adicionando reglas; mientras en un sistema convencional, un pequeño cambio requiere de la derivación completa de nuevas ecuaciones. A pesar de las ventajas que presentaba el uso de la lógica Fuzzy, no tuvo gran acogida en su inicio, quizá porque fué marcada con la idea de "inteligencia artificial". Ingenieros japoneses iniciaron el estudio y aplicación en la década del 70 y hoy se encuentran a la vanguardia en el diseño con lógica Fuzzy; la han incorporado en electrodomésticos, cámaras fotográficas y equipos de aire acondicionado, reduciendo considerablemente su consumo de potencia, mejorando su eficiencia e introduciendo gran versatilidad y funcionalidad en dichos aparatos.

METODOLOGIA

El control mediante sistemas fuzzy consta de tres etapas: "fuzzificación", aplicación de reglas y "defuzzificación".
Fig.3.

La aproximación es análoga al trabajo en el dominio de la frecuencia con datos transformados del dominio del tiempo.

Los sistemas reales generalmente son no lineales y las leyes que los gobiernan pueden cambiar constantemente, por ello es mas fácil procesar los datos numéricos que provee el sistema atendiendo a reglas intuitivas y al conocimiento adquirido de la experiencia.

Para lograrlo es necesario transformar las entradas al sistema en variables difusas (o Fuzzy). Esto se lleva a cabo mediante la etapa de "fuzzificación".

El procedimiento a seguir para lograr esto es definir funciones de pertenencia. La forma y la ubicación de estas funciones determina que tan bien trabaja el sistema. Generalmente se utilizan triángulos o trapecios como aproximación de una curva en forma de campana. Fig.4.

Esta aproximación es válida para el 90% de las aplicaciones y por ello algunas herramientas solo permiten el uso de triángulos.

La etapa de aplicación de reglas evalúa las reglas que se hayan definido mediante una herramienta de desarrollo. Estas reglas son de

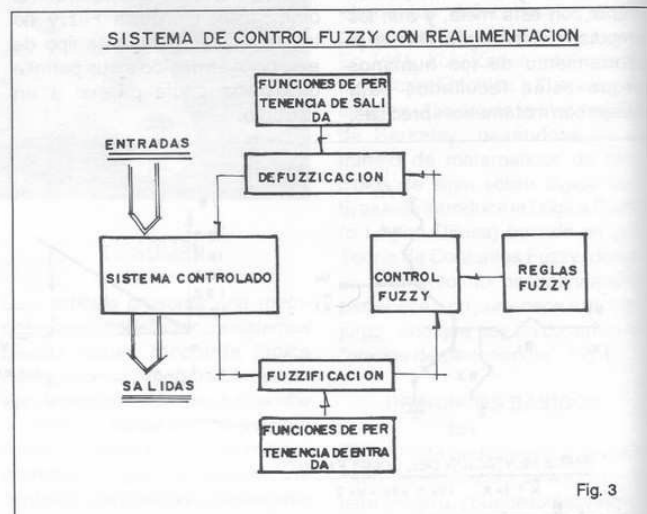


Fig. 3

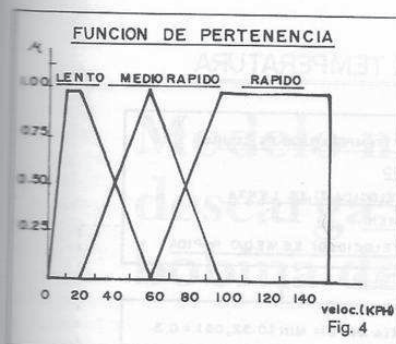


Fig. 4

la forma IF-THEN, y además pueden incluir operaciones Fuzzy, tanto en el precedente como en el consecuente. Las operaciones Fuzzy básicas se definen como sigue :

$$\mu_{(A \text{ AND } B)} = \min(\mu_A, \mu_B)$$

$$\mu_{(A \text{ OR } B)} = \max(\mu_A, \mu_B)$$

$$\mu_{(\text{NOT } A)} = 1 - \mu_A$$

La evaluación de las reglas de operación determina el nivel de activación de las salidas a partir del valor de verdad de las premisas de cada una de las reglas. Las reglas pueden evaluarse en paralelo o en serie dependiendo si el sistema está implementado en software o en hardware.

Debido a que el sistema puede invocar diferentes acciones, determinadas de la evaluación de reglas distintas, se debe efectuar un proceso adicional que deduzca las acciones difusas a tomar.

Primero se utiliza uno de los métodos de inferencia basados en áreas bajo la curva: Fig. 4.

Max-min (o min-max) que corta la variable difusa de salida a la altura del valor generado por la premisa.

Max-dot (o max product) que realiza un escalamiento de la función difusa de salida tomando como valor máximo el valor de verdad generado por la premisa.

Para transferir el valor de verdad de la premisa al consecuente de la regla. Una vez realizada la inferencia de los valores de verdad se suman las acciones para crear un conjunto Fuzzy. Este conjunto es convertido a un valor real mediante los métodos de "defuzzificación". La combinación y "defuzzificación" final hace uso de funciones de pertenencia definidas por el programador (similares a las usadas en el proceso de "fuzzificación") mediante diferentes técnicas como la de maximización

(la más sencilla) que toma el grado de pertenencia mayor para cada regla, es decir, la regla más verdadera e invoca la acción correspondiente. La técnica más popular es la del centroide que calcula el centro de masa de las áreas determinadas por los métodos de inferencia. (Ver ejemplo) Fig. 5.

En el ejemplo (Fig. 6) puede observarse el proceso completo aplicado a un control de temperatura cuya entrada es la temperatura, y que posee por realimentación la velocidad del ventilador del sistema controlado.

CONCLUSIONES

A pesar de que el control Fuzzy está fuera del alcance de las matemáticas convencionales para el análisis y verificación de un sistema de control, esta alternativa presenta ventajas de adaptabilidad a problemas que difícilmente se pueden manejar mediante un simple conjunto de ecuaciones, y además hay que resaltar que la descripción mediante reglas intuitivas es muy fácil de realizar.

Los sistemas basados en lógica Fuzzy son un punto de partida para el desarrollo de sistemas de control adaptativo que utilicen redes neuronales y algoritmos genéticos.

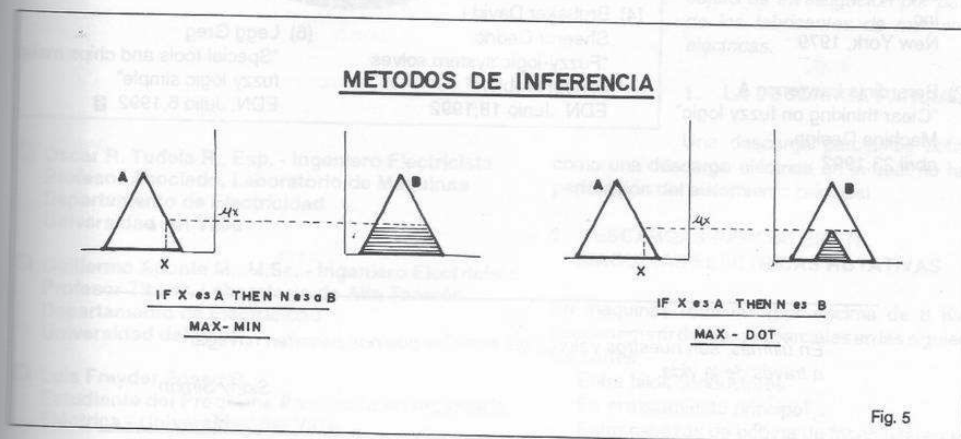


Fig. 5

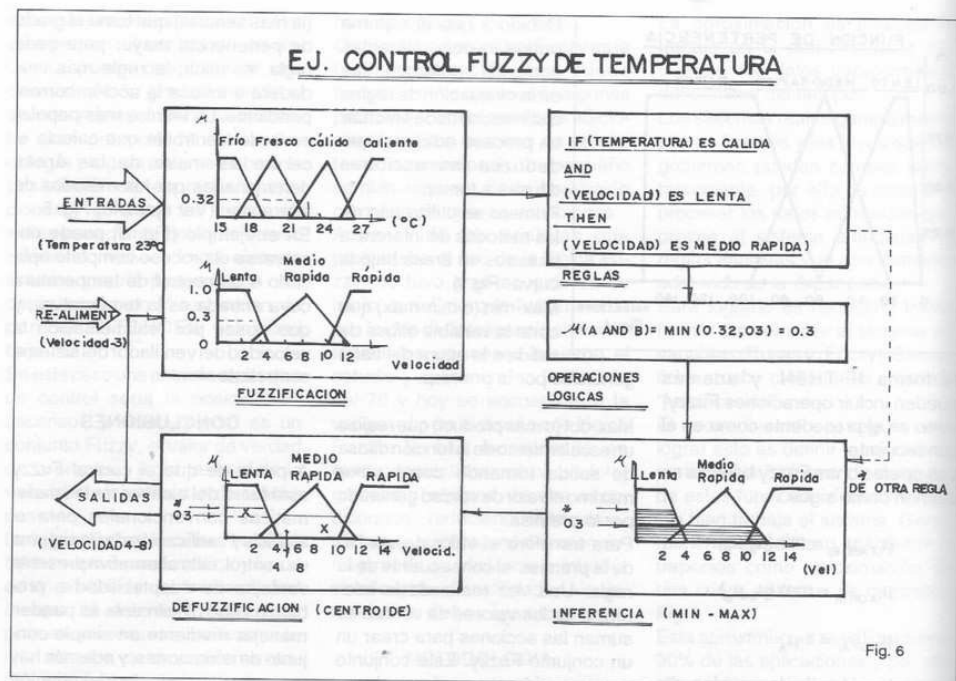


Fig. 6

BIBLIOGRAFIA

- (1) Kandel Abraham, Lee Samuel C. "Fuzzy switching and Automata" Crane, Russak & Company, Inc New York, 1979
- (2) Berardinis Lawrence A. "Clear thinking on fuzzy logic" Machine Design, abril 23, 1992
- (3) Brubaker David I. "Fuzzy-logic basics: intuitive rules replace complex math" EDN, Junio 18, 1992
- (4) Brubaker David I, Sheerer Cedric "Fuzzy-logic system solves control problem" EDN, Junio 18, 1992
- (5) Nass Richard "Fuzzy logic finally gains acceptance in the U.S." Electronic Design, Junio 25, 1992
- (6) Legg Greg "Special tools and chips make fuzzy logic simple" EDN, Julio 6, 1992