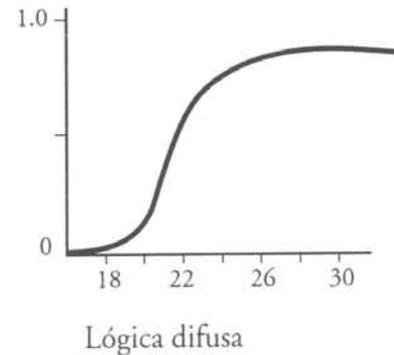


La lógica difusa y sus aplicaciones en la Ingeniería Electrónica

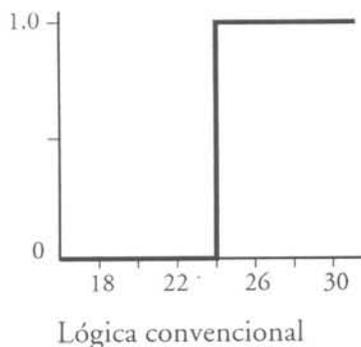
Juan Manuel Chaparro Fonseca
Ingeniería Electrónica
Universidad Central

La lógica difusa nació de la necesidad de obtener un método que permitiera relacionar totalmente el pensamiento humano con la toma de decisiones en todo tipo de conjuntos que aparecen en el mundo real. El presente ensayo busca proporcionar algunas sugerencias que se podrían implementar en materias relacionadas con la ingeniería electrónica, a fin de elevar aún más la alta calidad académica de los estudiantes.



Introducción a la lógica difusa

En 1965, Lofti Zadeh, profesor de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación de la Universidad de Berkeley, introdujo la lógica difusa. Ésta se basa en la teoría de conjuntos difusos, donde un elemento no necesariamente pertenece o no pertenece a un conjunto, sino que se sitúa en un continuo de “grados de pertenencia”:



En efecto, para la lógica difusa, en el mundo real son muy escasos los conjuntos no *fuzzy* o convencionales. Por ejemplo, al considerar el conjunto de los mamíferos, encontramos un problema al tratar de clasificar al ornitorrinco; la lógica difusa no tiene que tratar con este tipo de excepciones, debido a que permite una pertenencia parcial a un conjunto.

La lógica difusa ha sido aplicada en áreas tan diversas como control, medicina, biología, ecología, economía y política. En la ingeniería de control, se aplicó por primera vez en 1974, en el control de una máquina de vapor.

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:

$$\mu_A(x) \rightarrow [0,1]$$

A μ se le conoce como “valor de verdad”, porque representa el grado en que una proposición es verdadera.

●

La lógica difusa ha sido aplicada en áreas tan diversas como control, medicina, biología, ecología, economía y política. En la ingeniería de control, se aplicó por primera vez en 1974, en el control de una máquina de vapor.

●

La lógica convencional es un caso particular de la lógica difusa, ya que al hacer un grado de pertenencia igual a 0, se indica una pertenencia nula o no pertenencia, e igualándolo a 1, una pertenencia total.

A partir de la teoría de conjuntos se desarrolló la lógica binaria, soporte matemático de los sistemas digitales. Similarmente, la teoría de conjuntos difusos ha permitido desarrollar sistemas de control electrónico, procesadores, coprocesadores, tarjetas y computadores. En este último caso, la implementación puede llevarse a cabo exactamente igual a como se haría con la lógica binaria. Los sistemas basados en la lógica difusa son capaces de controlar más adecuadamente procesos gobernados por reglas intuitivas que difícilmente pueden expresarse matemáticamente. Por ejemplo, en el control de un ascensor puede determinarse una desaceleración gradual cuando el aparato está próximo a su destino.

La gran potencia de esta metodología de programación 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 está cerca de un piso Y hay

orden de parar, ENTONCES disminuya la velocidad. En este caso, una entrada al sistema de control sería la posición del ascensor, y como “cerca” es un conjunto difuso, el valor de verdad de la premisa y, por tanto, el de la velocidad, varían de acuerdo con dicha posición.

La lógica difusa elimina 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 ellas, mientras que los procesos complejos sólo requieren 30 ó 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, etc.

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 que generan código en lenguaje C o en ensamblador, para su utilización en microcontroladores convencionales, convirtiendo al control difuso en una alternativa más apropiada y económica. Otra ventaja del control difuso es la fácil modificación que puede llevarse a cabo cambiando algunas premisas y operaciones, o adicionando reglas (el criterio de comportamiento del sistema va implícito en las reglas), mientras que en un sistema convencional un pequeño cambio requiere la derivación completa de nuevas ecuaciones. El control difuso no necesita de la etapa de obtención del modelo matemático del proceso.

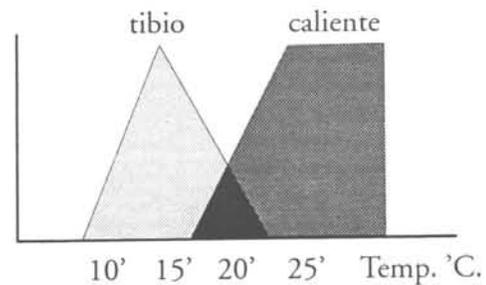
Ingenieros japoneses iniciaron el estudio y aplicación de la lógica difusa en la década del 70 y hoy se encuentran a la vanguardia en el diseño con ésta; la han incorporado en electrodomésticos, cámaras fotográficas y equipos de aire acondicionado, reduciendo considerablemente su consumo de energía, mejorando su eficiencia e introduciendo gran versatilidad y funcionalidad en dichos aparatos.

Conjuntos difusos

La lógica difusa maneja grados de pertenencia y grados de verdad; es decir, un elemento puede

pertenecer parcialmente a un conjunto y a la vez no pertenecer parcialmente a dicho conjunto.

Por ejemplo, una temperatura de 20°C, ¿es tibio o caliente? En lógica difusa podemos definir un par de conjuntos tibio y caliente y especificar el grado de pertenencia de la temperatura dada en cada conjunto, con lo que sería posible definir que 20°C es tanto tibio como caliente:



La ventaja de definir los conjuntos difusos es que podemos tener cambios graduales en la salida para cambios pequeños en la entrada. En conjuntos booleanos, una temperatura de 19,9 sería tibia, mientras que una de 20,1 se

•

Los sistemas basados en la lógica difusa son capaces de controlar más adecuadamente procesos gobernados por reglas intuitivas que difícilmente pueden expresarse matemáticamente.

•

clasificaría como caliente; en los conjuntos difusos, ambas temperaturas tienen cierto grado de pertenencia al conjunto tibio y al conjunto caliente.

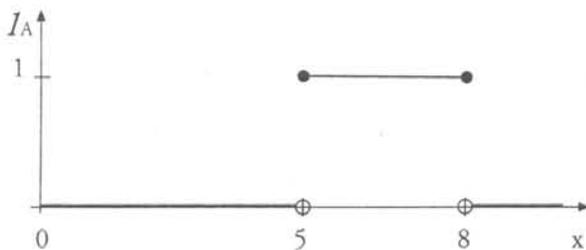
Definiciones básicas de conjuntos difusos

¿Qué es un conjunto difuso?

En matemática clásica, estamos familiarizados con los llamados conjuntos crisp. Por ejemplo, consideremos el conjunto X de los números reales entre 0 y 10, al que llamaremos conjunto universal. Ahora definamos un subconjunto A de X de todos los números reales que están en el rango entre 5 y 8.

$$A = [5, 8]$$

Ahora veamos la función característica del conjunto A . Esta función asigna un número entre 1 y 0 para cada elemento en X , y depende de si el elemento es un subconjunto de A o no. Este resultado se ve en el siguiente gráfico:



Se puede ver que cada elemento tiene asignado un valor (0 ó 1). Los elementos del conjunto A tienen asignados el valor de 1 preasignado porque el número 0 corresponde a un elemento que no está en el conjunto A .

Este concepto es suficiente para aplicaciones en muchas áreas. Pero se necesita buscar otra solución en situaciones donde haya flexibilidad. Consideremos el siguiente ejemplo:

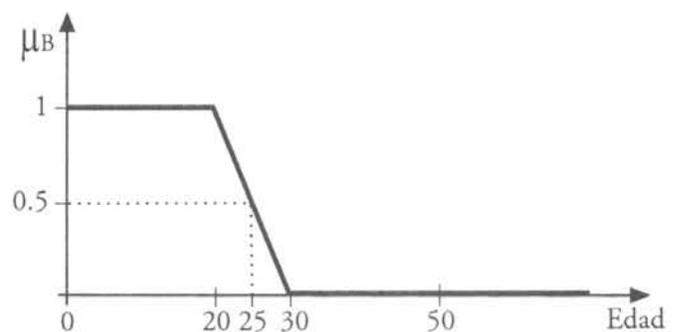
Un conjunto que describa a la gente joven. Formalmente se puede denotar así:
 $B = \{\text{conjunto de personas jóvenes}\}$

Entonces, en general, se toma como límite inferior las edades que arrancan en 0 años. El rango superior se define, para un primer caso, como 20 años; es una primera consideración el rango superior de 20 años. Entonces tenemos B un intervalo crisp, así:

$$B = [0, 20]$$

Ahora, la pregunta es la siguiente: ¿Es joven una persona con 20 años de edad? Tenemos que cuando tiene 20 años es una persona joven; ahora bien, ¿un día después será una persona vieja? Obviamente, éste es un problema estructural, pues al mover el límite superior de 20 a otro punto arbitrario se generaría el mismo problema.

La interpretación de los números asignados entre 0 y 1 en la gráfica muestra el grado de pertenencia de cada elemento al conjunto universal. Si está en 1, significa que el elemento pertenece al conjunto B ; y si está en 0, significa que el elemento no pertenece al conjunto B . Para concretar, aquí se tiene la gráfica del ejemplo:



Sistemas basados en la lógica difusa

Para entender un sistema basado en la lógica difusa, es necesario conocer los siguientes conceptos:

Entradas crisp: son las entradas al sistema. Por ejemplo, el voltaje de un sensor de temperatura o la frecuencia de un sensor de lluvia.

Grado de membresía: es el grado en el que una entrada crisp pertenece a una función de membresía (entre 0 y 1). También se le conoce como valor de verdad o entrada difusa.

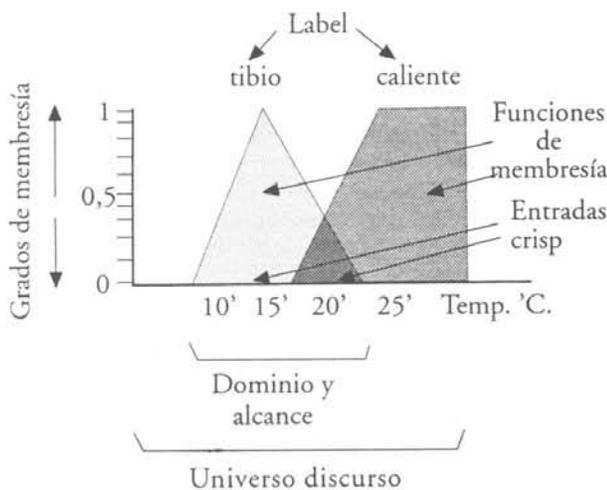
Etiqueta (*label*): nombre descriptivo para identificar los conjuntos difusos. Ejemplos: caliente, frío, húmedo, etc.

Funciones de membresía: definen el conjunto difuso mapeando el dominio de las entradas crisp a grados de membresía o pertenencia.

Universo discurso: rango de todos los posibles valores aplicables a una variable del sistema.

Dominio y alcance: ancho de la función de membresía, esto es, el rango de valores sobre los cuales se mapea una función de pertenencia. En este caso, el dominio es de 10° a 30° y el alcance es de 20°.

La siguiente gráfica indica cada una de las definiciones anteriores:

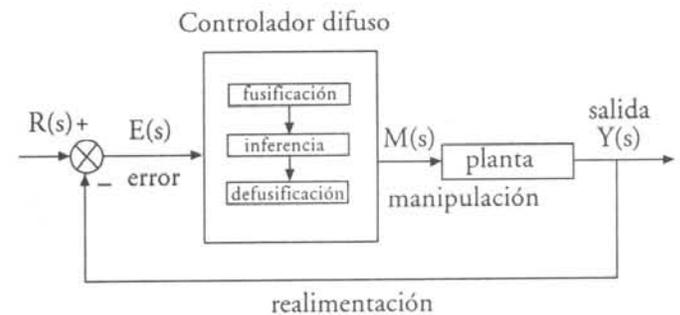


Control difuso

Como se había comentado en la introducción, la lógica difusa se puede utilizar en los sistemas de control. El uso de técnicas difusas para el control automático trata de imitar el comportamiento consciente de un operador humano para gobernar procesos no lineales complejos o plantas de producción, tareas que difícilmente pueden ser modeladas mediante reflexiones físico-matemáticas. Estas circunstancias deshabilitan el diseño sistemático de un controlador basado en modelos convencionales. Ejemplos de esta clase de procesos son:

- Procesos de producción biotecnológicos.
- Procesos químicos.
- Procesamiento de imágenes.
- Plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros.

Un control de lazo realimentado (estándar) es como se muestra a continuación:



En lugar de un controlador lineal o no lineal, se usa el controlador difuso. Este controlador consta básicamente de tres elementos:

Fusificación

Inferencia (evaluación de reglas)

Defusificación

La primera tarea de un controlador difuso es la traducción de las entradas numéricas en variables lingüísticas, las cuales van a ser utilizadas posteriormente.

Fusificación: en esta fase se etiqueta el valor crisp de la variable de entrada (variable numérica) con un término lingüístico y se determina su correspondiente grado de pertenencia. Asumiendo que la variable de salida *y* puede ser medida en un control estándar de lazo cerrado, en los siguientes pasos sólo se procesarán las respectivas variables lingüísticas con términos como negativo grande, negativo pequeño, etc. Por tanto, es necesario que se definan funciones de pertenencia para la salida *y*.

Inferencia (evaluación de reglas): consiste en la determinación de conclusiones o la generación de hipótesis basados en el estado de una entrada. Para la operación del control de lazo cerrado, esto significa que las reglas definen las dependencias entre los valores lingüísticos de entrada y los valores lingüísticos de salida. El resultado: una variable manipulada

(*m*) que varía de acuerdo con una situación de entrada.

En principio, los componentes de la inferencia imitan las estrategias de un operador humano; pero estas acciones simbólicas de control no pueden usarse para una planta real a menos que la variable lingüística obtenida sea defusificada.

Defusificación: es el proceso de llevar los resultados simbólicos obtenidos a valores que puedan utilizarse para activar las acciones de control.

Para la defusificación existen varios métodos, como, por ejemplo: centro de gravedad, máxima pertenencia y centro de máxima pertenencia, entre otros.

Conclusión

Como se puede observar, la lógica difusa es un tema de gran interés, que puede ser explotado ampliamente, no solamente en

Sería bastante fructífero tanto para el estudiante como para el docente, que en las materias en que se observe mayor aplicación se adopte un enfoque sistemático hacia esta lógica, comenzando a enseñarla y pensando en aplicaciones que sirvan para formar grupos de trabajo y, por qué no, grupos de investigación dentro de la Universidad.

Ingeniería, sino también en otras carreras afines en la Universidad. Sería bastante fructífero tanto para el estudiante como para el docente, que en las materias en que se observe mayor aplicación se adopte un enfoque sistemático hacia esta lógica, comenzando a enseñarla y pensando en aplicaciones que sirvan para formar grupos de trabajo y, por qué no, grupos de investigación dentro de la Universidad.

Son muy pocas las universidades en el país que han desarrollado aplicaciones en este

campo. La idea es desarrollar los temas que son de auge en la actualidad y que las posibles aplicaciones que se generen sean, principalmente, para beneficio de la Universidad. Un ejemplo puede ser diseñar y construir dispositivos para el laboratorio de Electrónica, con los cuales se puedan hacer prácticas, desarrollar *software* tutorial para la enseñanza de la lógica difusa, etc., con miras a fortificar el gran prestigio que ha ganado la Universidad a nivel nacional e internacional.

bojas Universitarias.....