



TIJUANA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

IEEE COMPUTATIONAL INTELLIGENCE SOCIETY MEXICO CHAPTER

“3RD INTERNATIONAL SEMINAR ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE 2006”

TUTORIAL TYPE-2 FUZZY LOGIC: THEORY AND APPLICATIONS

JUAN RAMON CASTRO RODRIGUEZ

Universidad Autónoma de Baja California

Instituto Tecnológico de Tijuana

Copyright @ Juan Ramón Castro Rodríguez

OCTOBER 9, 2006

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION.	3
2. SISTEMAS DE LOGICA DIFUSA TIPO-2.	4
2.1. Definición de conjuntos difusos.	4
2.2. Variable lingüística.	10
2.3. Operaciones de conjuntos difusos.	10
2.4. Principio de extensión.	15
2.5. Relaciones difusas.	15
2.6. Razonamiento difuso.	19
2.6.1. Razonamiento difuso tipo-1.	20
2.6.2. Razonamiento difuso tipo-2 por intervalos.	22
2.6.3. Razonamiento difuso tipo-2 generalizado.	25
2.7. Sistemas de inferencia difusos.	27
3. DISEÑO DE SISTEMAS DE LOGICA DIFUSA TIPO-2 POR INTERVALOS.	39
3.1. Sistema de inferencia difusa tipo-2 por intervalos de Mamdani.	40
3.2. Sistema de inferencia difusa tipo-2 por intervalos de TSK.	50
4. APLICACIONES.	57
4.1. Pronóstico de consumo de energía eléctrica.	57
4.2. Pronóstico de la serie de tiempo de Mackey-Glass.	59
4.3. Pronóstico del precio de cotizaciones peso / dólar.	60
4.4. Simulación para el control de una regadera.	61
4.5. Simulación para el control de estacionar un carro.	64
5. CONCLUSIONES.	68
APENDICE A. Computación.	69
REFERENCIAS.	89

1 INTRODUCCION.

En la década pasada, los sistemas difusos han desplazado a las tecnologías convencionales en muchas aplicaciones científicas y sistemas de ingeniería, especialmente en los sistemas de control y el reconocimiento de patrones. La misma tecnología difusa, en la forma de razonamiento aproximado, está también resurgiendo en la tecnología de información, donde proporciona soporte de decisiones y sistemas expertos con las capacidades de razonamiento poderosos limitados a un mínimo de reglas.

Los *conjuntos difusos* fueron introducidos por L.A. Zadeh en 1965 [1,2] para procesar / manipular información y datos afectados de imprecisión / incertidumbre no probabilística. Fueron diseñados para representar matemáticamente la vaguedad y incertidumbre en lingüística; proporcionando las herramientas formalizadas para trabajar con la imprecisión intrínseca en muchos problemas; puede ser considerada como una generalización de la teoría de conjuntos clásica.

La idea básica de los conjuntos difusos es muy sencilla. En un conjunto clásico (no difuso), un elemento del universo pertenece o no al conjunto. Esto es, la membresía de un elemento es dura - ya sea sí (está en el conjunto) o no (no está en el conjunto). Un conjunto difuso es una generalización de un intervalo unidad $[0, 1]$. Así, la *función de membresía* de un conjunto difuso mapea cada elemento del universo de discurso a un rango del espacio el cual, en muchos casos, es el conjunto al intervalo de la unidad.

Una de las más grandes diferencias entre los conjuntos duros y difusos es que el primero siempre tiene funciones de membresía únicas, mientras que todo conjunto difuso tiene un número infinito de funciones de membresía que pueden representarlo. Esto permite que los sistemas difusos puedan ser ajustados a su rendimiento máximo en una situación dada. En un sentido amplio, como apuntó Lotfi Zadeh [3,4] cualquier campo puede ser fuzzificado y generalizado reemplazando el concepto de conjunto duro en un campo fuente por el concepto de un conjunto difuso. Por ejemplo podemos fuzzificar algunos campos básicos tales como la aritmética, la teoría de grafos y la teoría de la probabilidad para desarrollar aritmética difusa, teoría de grafos difusos y teoría de probabilidad difusa, respectivamente; podemos también fuzzificar algunos campos aplicados tales como redes neuronales, algoritmos genéticos, teoría de estabilidad, reconocimiento de patrones y programación matemática para obtener redes neuronales difusas, algoritmos genéticos difusos, teoría de estabilidad difusa, reconocimiento de patrones difusos y programación matemática difusa, respectivamente. Los beneficios de tal fuzzificación incluyen mayor generalidad, poder expresivo más alto, una habilidad elevada para modelar problemas del mundo real, y una metodología para explotar la tolerancia a la imprecisión. Aquí la lógica difusa puede ayudar a alcanzar la tratabilidad, robustez y una solución a un costo más bajo.

La lógica difusa, es usada, comúnmente en la toma de decisiones de las empresas y en el control de toda la organización. Actualmente se usa esta lógica en el Japón y tiene gran aceptación en los Estados Unidos, y esto debido a que los presidentes de las grandes compañías las utilizan para reducir costos y requieren de menos reglas para su desarrollo y mejoran la calidad de los productos.

2 SISTEMAS DE LOGICA DIFUSA TIPO-2.

Los sistemas inteligentes basados en lógica difusa constituyen herramientas fundamentales para modelar sistemas complejos no lineales. Los conjuntos difusos y la lógica difusa, son el fundamento de los sistemas difusos, han sido desarrolladas buscando modelar la forma como el cerebro manipula información inexacta. Los conjuntos difusos tipo-2, se usan para modelar incertidumbre e imprecisión. Los conjuntos difusos tipo-2 fueron originalmente propuestos por Zadeh en 1975 y son esencialmente conjuntos "difusos-difusos" en los que los grados de pertenencia son conjuntos difusos tipo-1 [4-6].

La incertidumbre, es "la imperfección en el conocimiento sobre el estado o los procesos de la naturaleza". La incertidumbre estadística es "la aleatoriedad o el error proveniente de varias fuentes como las descritas al usar la metodología estadística".

Hay varias fuentes de incertidumbre en el cálculo y evaluación. Los cinco tipos de incertidumbre, que emergen de un conocimiento impreciso del estado de la naturaleza son:

- Incertidumbre en la medición, es el error en las cantidades observadas.
- Incertidumbre en el proceso, es la aleatoriedad subyacente en la dinámica.
- Incertidumbre en el modelo, es la especificación errónea de la estructura del modelo;
- Incertidumbre en la estimación, es la que puede resultar de cualquiera, o de una combinación, de las incertidumbres descritas anteriormente y es la inexactitud e imprecisión.
- Incertidumbre en la implementación, es la consecuencia de la variabilidad que resulta de una política de ordenación, i.e. incapacidad para alcanzar exactamente el objetivo de una estrategia.

La lógica difusa, es una tecnología basada en reglas que tolera imprecisiones e incluso las aprovecha para resolver problemas que antes no tenían solución.

2.1 Definición de conjuntos difusos

Un *conjunto difuso tipo-1* [4] expresa el grado de verdad no-determinista impreciso con el que un elemento pertenece al conjunto. La función característica de un conjunto difuso puede tener valores entre 0 y 1, lo cual denota el grado de membresía de un elemento a un conjunto dado. Si X es una colección de objetos denotados por x , entonces si \tilde{A} es un *conjunto difuso tipo-1* en X , se define como un conjunto de pares ordenados:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\}$$

donde, $\mu_{\tilde{A}}(x)$, es llamada la *función de membresía* para el conjunto difuso tipo-1, \tilde{A} . La función de membresía mapea cada elemento de X a un grado de membresía entre 0 y 1. La construcción de un conjunto difuso depende de la identificación de un universo conveniente y la especificación de una función de membresía con el significado lingüístico apropiado. Las funciones de membresía mas frecuentes son la función de tipo trapezoidal, triangular, gaussiana, campana generalizada,