

CURSO DE DISEÑO DE CONTROLADORES DIFUSOS MEDIANTE EL ENTORNO DE DESARROLLO XFUZZY

S. SÁNCHEZ SOLANO, A. BARRIGA, I. BATURONE, D. R. LÓPEZ Y F. J. MORENO

Instituto de Microelectrónica de Sevilla. Centro Nacional de Microelectrónica, Avda. Reina Mercedes s/n, 41012-Sevilla, España.

En esta comunicación se presenta un conjunto de material didáctico que facilita la enseñanza de los conceptos básicos de la lógica difusa y su aplicación en problemas de control. El conjunto se estructura en cinco unidades temáticas que incluyen ejemplos interactivos que ponen de manifiesto los principales aspectos del diseño de este tipo de sistemas. Este material puede ser ejecutado en estaciones de trabajo o PCs con sistema operativo Linux.

1. Introducción

La rápida evolución de las tecnologías de la información obliga a una constante revisión de los contenidos y programas de las asignaturas de segundo y tercer ciclo para incluir tópicos avanzados que incorporen nuevos cuerpos de materia. En este sentido, la lógica difusa aparece con creciente frecuencia en cursos relacionados con el diseño avanzado de sistemas integrados, el diseño VLSI de sistemas inteligentes, los sistemas adaptativos, etc. Este hecho motiva la necesidad de desarrollar nuevo material didáctico que facilite la enseñanza de los aspectos teóricos básicos y las posibles aplicaciones prácticas de esta materia.

El formalismo matemático proporcionado por la lógica difusa emula el esquema de deducción humano, permitiendo la aplicación de técnicas de razonamiento aproximado a partir de reglas expresadas en lenguaje natural [1]. Esta característica hace que los mecanismos de inferencia difusos sean de gran utilidad en diferentes campos de la ingeniería y las ciencias sociales [2]. En concreto, la utilización de controladores difusos, cuya base de conocimiento resume la experiencia de un operador experto, constituye hoy día una alternativa interesante frente a (o en combinación con) otras estrategias de control más convencionales [3].

Esta comunicación describe un conjunto de material didáctico que facilita la comprensión de los conceptos básicos de la lógica difusa y permite al alumno aplicar dichos conceptos a una serie de ejemplos prácticos de control difuso. El material se estructura en dos bloques diferenciados: 1) un entorno CAD de desarrollo de sistemas de inferencia basados en lógica difusa; y 2) una serie de ejemplos interactivos que guían al alumno a través de los diferentes aspectos del diseño de este tipo de sistemas.

Este trabajo ha sido soportado parcialmente por los proyectos CICYT TIC98-0869 y TXT98-1384.

2. El entorno de desarrollo XFUZZY

El entorno Xfuzzy está formado por un conjunto de herramientas de CAD que facilitan las diferentes etapas del proceso de diseño de sistemas de inferencia difusa [4]. Siguiendo una metodología de diseño top-down, el diseño de un controlador difuso con Xfuzzy comienza con su descripción mediante un lenguaje de especificación formal (XFL) [5]. La especificación XFL contiene información sobre la base de conocimiento (reglas difusas y funciones de pertenencia de antecedentes y consecuentes) y sobre el mecanismo de inferencia utilizado (conectivos, función de implicación y método de defuzzificación). La descripción del sistema difuso puede realizarse mediante cualquier editor de textos disponible o mediante las facilidades gráficas que proporciona el entorno. Si se dispone de un conjunto de datos de entrenamiento, la especificación puede ser ajustada mediante una herramienta de aprendizaje supervisado capaz de ajustar los parámetros de especificaciones XFL de cualquier complejidad. En la etapa de verificación, Xfuzzy proporciona herramientas para simular el comportamiento del motor de inferencia en lazo abierto, así como para verificar su funcionamiento en lazo cerrado con un modelo C de la planta bajo control o conectando la planta real a través de una tarjeta de adquisición de datos. Por último las herramientas de síntesis de Xfuzzy permiten obtener implementaciones del sistema difuso mediante software (como código C o Java) y mediante hardware (como código VHDL que puede ser sintetizado de forma automática en una FPGA o un ASIC).

La simplicidad y flexibilidad del lenguaje XFL y la potencia de las herramientas integradas en el entorno hacen de Xfuzzy un instrumento muy valioso para un amplio rango de aplicaciones, como el estudio de nuevos operadores difusos, la identificación de modelos difusos y la implementación software o hardware de controladores difusos. Xfuzzy pueden compilarse y ejecutarse sobre sistemas operativos tipo Unix (en particular, sobre las distintas distribuciones de Linux). Las diferentes herramientas pueden ejecutarse de forma independiente desde la línea de comandos o a través de una interfaz gráfica de usuario, basada en X-window, que proporciona menús con las opciones y comandos más habituales. En su desarrollo se han utilizado componentes software de libre distribución y el propio entorno está disponible bajo licencia GNU a través de su página de web (<http://www.imse.cnm.es/Xfuzzy/>).

3. Ejemplos de diseño interactivos

Las características anteriores hacen que sea relativamente sencillo utilizar el entorno Xfuzzy con objeto de generar material didáctico para la enseñanza de la lógica difusa. En concreto, utilizando la herramienta Visual Tcl (que facilita el diseño de aplicaciones con Tcl/Tk [6]), hemos desarrollado material de apoyo para las siguientes unidades temáticas incluidas en un curso de introducción al diseño de controladores difusos:

Principios básicos de la lógica difusa. Se introducen los conceptos de conjunto difuso y mecanismo de inferencia, se identifican los diferentes componentes de un sistema de inferencia difuso y se discute la utilización de distintos tipos de funciones de pertenencia, conectivos lingüísticos, funciones de implicación y métodos de defuzzificación. El material didáctico empleado en esta unidad se apoya en el uso de los editores de operadores difusos, funciones de pertenencia y bases de reglas, así como de la utilidad de visualización de superficies de control disponibles en Xfuzzy (Figura 1).

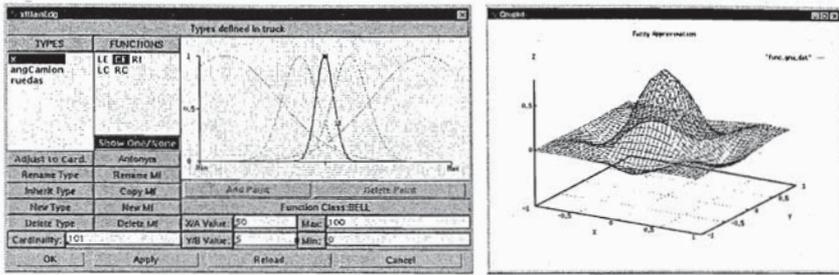


Figura 1: Edición de funciones de pertenencia y visualización de superficies de control.

Los sistemas difusos como aproximadores universales. Esta unidad temática ilustra cómo un sistema difuso puede aproximar un comportamiento entrada-salida determinado. En particular, haciendo uso de la herramienta de aprendizaje de Xfuzzy se utilizan distintos algoritmos basados en retropropagación de errores para identificar y ajustar las funciones de pertenencia de sistemas que aproximan diferentes funciones de dos variables.

Ejemplos clásicos de control difuso. A partir de algunos problemas clásicos de control, como el péndulo invertido o el camión dirigiéndose marcha atrás hacia un muelle de carga, y utilizando las facilidades de simulación de Xfuzzy, se introducen los aspectos básicos del control difuso (selección de variables lingüísticas, construcción de la base de reglas, etc.). Utilizando entornos gráficos específicos, el alumno puede modificar la descripción del controlador difuso y los parámetros del modelo de la planta y observar las consecuencias de dichas modificaciones en la estrategia de control resultante (Figura 2).

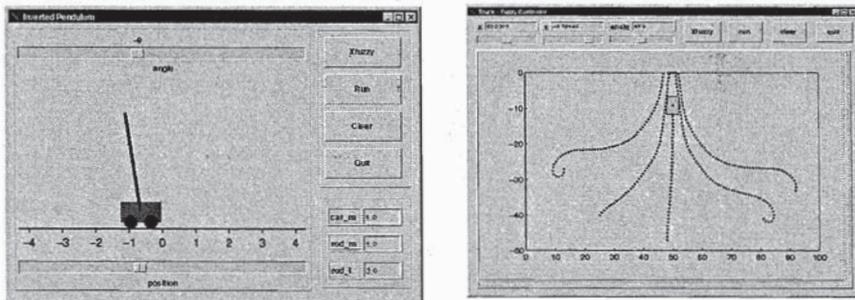


Figura 2: Ejemplos clásicos de control incluidos en la unidad temática 3.

Controladores PID y Fuzzy-PID. Utilizando como ejemplo el problema de control de una bola suspendida en un flujo de aire, esta unidad temática introduce los distintos tipos de controladores difusos (Fuzzy PD, Fuzzy PI y Fuzzy PID) a partir de sus equivalentes clásicos (PD, PI, PID) y permite comparar las respuestas de ambos tipos de controladores. El entorno gráfico mostrado en la Figura 3a permite ajustar las constantes proporcional, derivativa e integral, así como obtener salidas gráficas que pueden ser posteriormente procesadas.

Aplicaciones industriales del control difuso. Como elemento final del curso sobre diseño de controladores difusos, la unidad temática 5 aborda una aplicación industrial consistente en el control de un sistema de dosificación formado por dos cubetas. La ventana interactiva mostrada en la Figura 3b ilustra el esquema conceptual del sistema y permite al diseñador definir la estrategia de control, modificar las condiciones de operación del experimento y ejecutar la simulación.

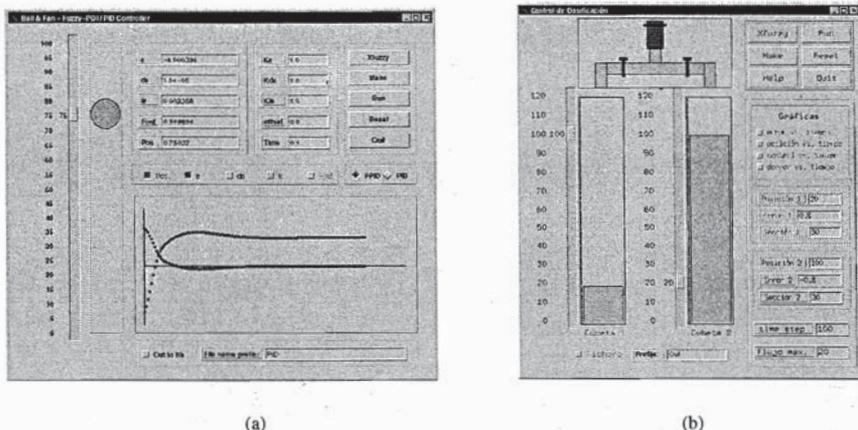


Figura 3: Entornos de simulación utilizados en las unidades temáticas 4 (a) y 5 (b).

4. Conclusiones

La utilización de herramientas de diseño de sistemas difusos junto con una serie de entornos específicos generados con Tcl/Tk ha permitido el desarrollo de un conjunto de unidades temáticas que facilitan el aprendizaje de los aspectos teóricos de la lógica difusa y su aplicación a diferentes problemas de control. Para la utilización de este material didáctico pueden emplearse estaciones de trabajo Unix, además de otras plataformas de menor coste como PCs con sistema operativo Linux.

Referencias

- [1] L.A. Zadeh, Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, 3, 28-44 (1973).
- [2] D.G. Schwartz, G.J. Klir, H.W. Lewis y Y. Ezawa, Applications of fuzzy sets and approximate reasoning, *Proc. IEEE*, 82, 482-498 (1994).
- [3] T. Terano, K. Asai, M. Sugeno, Eds., *Applied Fuzzy Systems*, Academic Press (1994).
- [4] D.R. López, C.J. Jiménez, I. Baturone, A. Barriga y S. Sánchez-Solano, Xfuzzy: A design environment for fuzzy systems, *IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems*, (1060-1065) 1998.
- [5] D.R. López, F.J. Moreno, A. Barriga y S. Sánchez-Solano, XFL: A language for the definition of fuzzy systems, *IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems*, (1585-1591) 1997.
- [6] B. Welch, *Practical Programming in Tcl and Tk*, Prentice Hall (1997).