

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA DE
TELECOMUNICACIÓ DE BARCELONA (UPC)**

Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions

**SISTEMAS DIFUSOS DINÁMICOS
PARA EL
TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN
TEMPORAL IMPRECISA**

Autor: Orestes Mas i Casals
Director: Joan Maria Miró Sans

Barcelona, 1997

7. Conclusiones y líneas futuras

7.1 Conclusiones

Hasta la fecha, sólo un trabajo previo de Qian [Qian 1992] trataba, y de una forma rudimentaria, la inclusión de conceptos temporales imprecisos en las reglas difusas tradicionales. Recogiendo esta idea preliminar, en la presente tesis se ha propuesto una completa metodología para abordar de forma sistemática este problema, en la manera que se detalla a continuación:

En primer lugar, a partir del estudio de los modelos temporales difusos propuestos por varios autores se ha efectuado una propuesta propia que recoge las características propias del entorno de ingeniería. Posteriormente se ha mostrado el modo de incorporar los citados conceptos difusos en las reglas de inferencia difusa tradicionales, reduciendo toda la posible casuística a sólo dos situaciones mediante transformaciones adecuadas.

La modificación de las reglas difusas requiere modificar también la técnica de inferencia utilizada hasta la fecha. Con este fin, se han desarrollado dos algoritmos que especifican claramente cómo efectuar ese proceso en las dos situaciones antes mencionadas. De cada algoritmo se ha dado una versión en el dominio discreto y una en el continuo. La característica más relevante de los citados algoritmos es que las expresiones finales pueden interpretarse en uno de los casos como una convolución ordinaria, lo que resulta de extraordinario interés de cara a su implementación práctica. En el otro caso, la similitud funcional de las expresiones obtenidas con una convolución ordinaria ha permitido definir el importante concepto de *convolución difusa*, que se ha revelado de gran interés para comprender ciertos fenómenos asociados al comportamiento de los sistemas difusos obtenidos mediante estas técnicas.

Sin detenerse en el plano teórico, se ha efectuado también un estudio de las implementaciones físicas de los algoritmos, tanto en el caso discreto como en el continuo. Se ha llegado así a proponer unas estructuras que presentan la enorme ventaja de no modificar substancialmente las configuraciones internas preexistentes de los sistemas difusos clásicos. Además, la implementación final obtenida es *escalable* a voluntad del diseñador, en el sentido de que sólo es necesario introducir modificaciones

en aquellas reglas que deban llevar asociados conceptos temporales difusos, dejando el resto inalterado.

Las estructuras finales obtenidas resultan ser *dinámicas*, con lo que el sistema global es dinámico y no lineal. Tradicionalmente, este tipo de sistemas resultan complejos de analizar, y aún más de diseñar. Para subsanar este inconveniente, se ha dado una interpretación muy potente para el tipo de función que realiza el sistema de inferencia temporal difusa obtenido. Esta interpretación permite diseñar los conceptos temporales y espaciales difusos a incorporar en las reglas mediante la especificación de unos patrones de concordancia espacio-temporal entre el sistema difuso y las señales de entrada.

Las metodologías obtenidas requieren implementar los conceptos temporales deseados mediante su asimilación a la respuesta impulsional de un circuito. En el caso discreto el problema tiene una solución trivial mediante un filtro FIR, puesto que con él es posible obtener cualquier tipo de respuesta al impulso. La cuestión es muy distinta en el caso continuo, pues en general no será posible encontrar un circuito que presente la respuesta al impulso deseada, debiéndose recurrir a encontrar las mejores aproximaciones posibles. El problema principal que esto plantea es el poco desarrollo de las técnicas de diseño de circuitos en el dominio del tiempo. Por ello, se han propuesto dos metodologías que permiten obtener las citadas aproximaciones. La primera se basa en los aproximantes de Padé, mientras que la segunda utiliza técnicas de optimización en el dominio del tiempo.

El método de inferencia temporal difusa tiene su potencial de aplicación más notable en aquellas situaciones en las que sea imprescindible razonar en base a señales de las que se conocen sólo aproximadamente tanto sus amplitudes como sus duraciones. Un ejemplo típico de esta categoría lo constituye la señal de voz. Por ello se ha procedido también a desarrollar un sistema de reconocimiento simple de comandos verbales, basado en las técnicas propuestas en la presente tesis. Los resultados obtenidos han mostrado que con una estructura muy simple es posible obtener una discriminación más que suficiente entre las órdenes programadas, con la ventaja que presenta el realizar el sistema de forma totalmente analógica.

7.2 Líneas futuras:

La principal vía de investigación que abre la metodología propuesta en esta tesis la constituye el estudio en profundidad de las propiedades dinámicas que presentan los sistemas difusos obtenidos. En particular, es de interés primordial el estudiar el comportamiento de los citados sistemas en unos entornos que presenten retroacción, como pueden ser los sistemas de control automático. En estas situaciones, el conjunto puede presentar fenómenos propios de la dinámica no lineal, como los ciclos límite y el caos. También deberán estudiarse las semejanzas y diferencias con otro género distinto de sistemas difusos dinámicos propuestos anteriormente.

En cuanto a las aplicaciones, debe profundizarse en la resolución mediante los sistemas aquí propuestos de problemas de control automático, valorando las soluciones obtenidas por comparación con otras más clásicas, en particular el PID funcionando en entornos no lineales. Por otra parte, dados los esperanzadores resultados obtenidos por la aplicación de reconocimiento de voz que aquí se presenta, quiere extenderse el sistema para dotarle de capacidad de discriminar los diez dígitos numéricos pronunciados por varios locutores, y proceder a la integración del conjunto para conseguir una aplicación económica y de interés comercial.