



Adaptive neuro fuzzy controller for adaptive compliant robotic gripper

Alhely González Luna

2024-11-14

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417412007889>



Tabla de contenidos

Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y
desplazamiento
de los sensores

Patrones de
agarre

Estructura del
controlador
ANFIS

Diseño del
controlador
ANFIS

Implementación

Resultados
experimentales
de los patrones
de agarre

Capas del
ANFIS

Simulink

Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y desplazamiento de los sensores

Patrones de agarre

Estructura del controlador ANFIS

Diseño del controlador ANFIS

Implementación

Resultados experimentales de los patrones de agarre

Capas del ANFIS

Simulink

Entrenamiento

Funciones de membresía finales

Conclusiones



La prensión es uno de los temas más frecuentes en robótica debido a la necesidad de mover o manipular diferentes objetos. A pesar de los diversos beneficios de las técnicas de prensión desarrolladas para realizar procesos de agarre, sus limitaciones actuales las hacen costosas y poco flexibles. El punto clave en el sistema de prensión es el gripper. El rendimiento del gripper es muy importante cuando se manipulan objetos frágiles de diferentes rigideces y formas, por lo que un control de fuerza confiable es crucial. Este problema puede superarse con el uso de dedos deformables o flexibles que mejoran las capacidades limitadas de los dedos rígidos robóticos.

Para tales propósitos, los grippers convencionales deben estar equipados con sensores.



Para mejorar el control de un gripper robótico, la lógica difusa (FL) o el control de redes neuronales artificiales (ANN) han atraído mucha atención en los últimos años.

Las redes neuronales pueden aprender de los datos. Sin embargo, comprender el proceso de las redes neuronales es difícil. En contraste, los modelos basados en reglas difusas son fáciles de entender porque utilizan términos lingüísticos y la estructura de las reglas SI-ENTONCES. Sin embargo, a diferencia de las redes neuronales, la lógica difusa por sí sola no puede aprender. Dado que las redes neuronales pueden aprender, es natural fusionar estas dos técnicas. Esta técnica fusionada del poder de aprendizaje de las ANN con la representación del conocimiento de FL ha creado una nueva técnica híbrida, llamada redes neuro difusas o sistema de inferencia neuro difuso adaptativo (ANFIS).



La idea básica detrás de estas técnicas de aprendizaje neuro-adaptativo es proporcionar un método para que el procedimiento de modelado difuso aprenda información sobre los datos. El ANFIS es uno de los métodos para organizar el sistema de inferencia difuso con pares de datos de entrada/salida dados. Esta técnica le da a la lógica difusa la capacidad de adaptar los parámetros de las funciones de pertenencia que mejor permiten al sistema de inferencia difuso asociado rastrear los datos de entrada/salida dados.



En este artículo, se propone la aplicación de ANFIS para controlar el desplazamiento de entrada del gripper. Se derivó un algoritmo de control basado en el cambio de voltaje de los sensores integrados para realizar las tareas de detección y reconocimiento de un objeto de agarre. Simultáneamente, el controlador proporcionó la señal de desplazamiento de entrada de acuerdo con la forma del objeto de agarre fijo. Los dedos del gripper del robot estaban equipados con sensores integrados de caucho de silicona conductor. Para evaluar el algoritmo de reconocimiento de formas, se realizaron muchos experimentos de exploración táctil de agarre de objetos con el gripper robótico. El gripper debe reconocer un objeto dentro de los primeros 5 mm del desplazamiento de entrada.

Voltaje y desplazamiento de los sensores

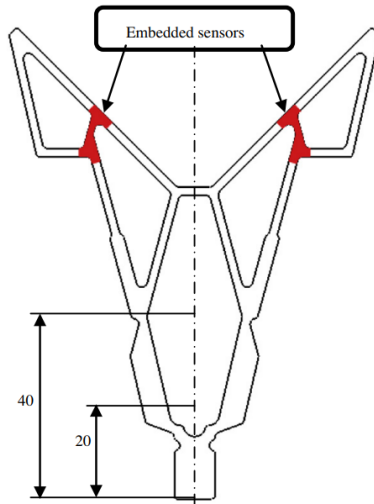


Fig. 1. Gripper design with embedded sensors and desired input displacements.

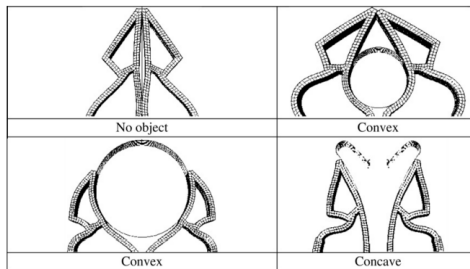


Fig. 3. Different grasping objects grouped in the three main grasping patterns.

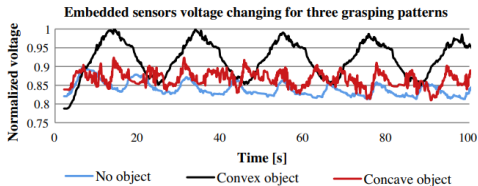


Fig. 2. Embedded sensors voltage changing for three grasping patterns.



Estructura del controlador ANFIS

Control de Procesos de Control
Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y
desplazamiento
de los sensores

Patrones de
agarre

Estructura del
controlador
ANFIS

Diseño del
controlador
ANFIS

Implementación

Resultados
experimentales
de los patrones
de agarre

Capas del
ANFIS

Simulink

La estructura de ANFIS contiene los mismos componentes que el FIS, excepto por el bloque ANN. La estructura de la red está compuesta por un conjunto de unidades (y conexiones) dispuestas en cinco capas de red conectadas.

La estructura de ANFIS se ajusta automáticamente mediante la estimación de mínimos cuadrados y el algoritmo de retropropagación. Los controladores ANFIS (FLC) en general tienen 6 módulos

- *Preprocesamiento*: Durante el preprocesamiento se eligen diferentes valores de voltaje, desplazamiento de entrada actual y desplazamiento de entrada requerido.
- *Fusificación*: Se utilizaron tres MF trapezoidales para la fusificación de las entradas, es decir, el voltaje y el desplazamiento de entrada actual.



Estructura del controlador ANFIS

Facultad de Ingeniería y Computación
Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y
desplazamiento
de los sensores

Patrones de
agarre

Estructura del
controlador
ANFIS

Diseño del
controlador
ANFIS

Implementación

Resultados
experimentales
de los patrones
de agarre

Capas del
ANFIS

Simulink

- *Motor de inferencia difuso*: Durante la segunda etapa de fusificación, las variables de entrada se convierten en variables lingüísticas. Este es el módulo que eventualmente actúa como un interruptor para que el usuario final decida qué desplazamiento de entrada se requiere.
- *Reglas*: Como había 2 variables de entrada y 3 variables difusas (cóncavo, convexo, nada), el controlador tenía un conjunto de $3 \times 3 = 9$ reglas para el controlador ANFIS. Las reglas fueron seleccionadas mediante el entrenamiento de la red neuronal con la ayuda del algoritmo de retropropagación.
- *Defusificación*: La salida del sistema difuso es el desplazamiento de entrada requerido.

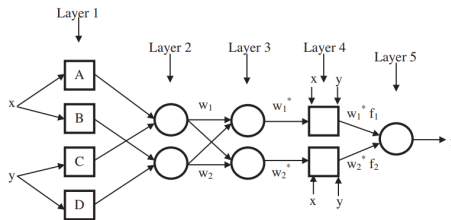


Fig. 6. ANFIS structure.

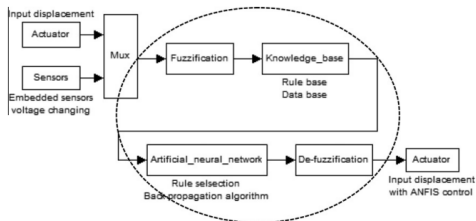


Fig. 4. Block diagram of the ANFIS control scheme for the input displacement control of the gripper.



Implementación del controlador ANFIS

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y
desplazamiento
de los sensores

Patrones de
agarre

Estructura del
controlador
ANFIS

Diseño del
controlador
ANFIS

Implementación

Resultados
experimentales
de los patrones
de agarre

Capas del
ANFIS

Simulink

Se utilizó el paquete de Matlab de lógica difusa para el desarrollo del controlador difuso y Simulink para desarrollar el ANFIS completo.

Se seleccionó un controlador Sugeno de primer orden con dos parametros de entrada de la forma

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } C \text{ then } f_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

Para la red neuronal se llevaron a cabo experimentos para recolectar los pares input/output, los cuales llevaron a los tres posibles agarres (cóncavo, convexo y nada).



Resultados experimentales de los patrones de agarre

Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y desplazamiento de los sensores

Patrones de agarre

Estructura del controlador ANFIS

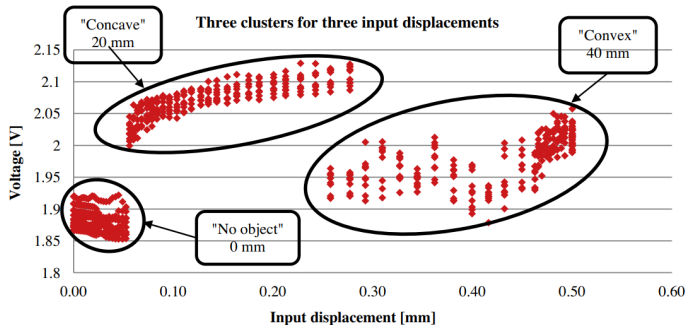
Diseño del controlador ANFIS

Implementación

Resultados experimentales de los patrones de agarre

Capas del ANFIS

Simulink



El controlador final se compone de 5 capas de tal forma que

- La primera capa se compone de las funciones de membresía para los dos valores de entrada (voltaje de los sensores y el desplazamiento de entrada actual). Se eligieron funciones de membresía trapezoidales definidas como

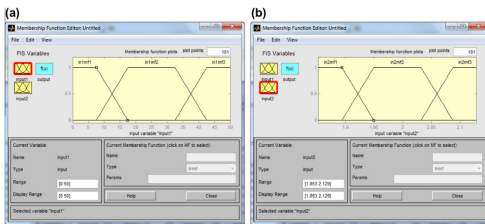


Fig. 11. MF editor for (a) the first input (input displacement) and for (b) the second input (voltage changing).

$$\mu(x) = \text{trapezoid}(x; a_i, b_i, c_i, d_i) = \begin{cases} 0, & x \leq a_i \\ \frac{x-a_i}{b_i-a_i}, & a_i \leq x \leq b_i \\ 1, & b_i \leq x \leq c_i \\ \frac{d_i-x}{d_i-c_i}, & c_i \leq x \leq d_i \\ 0, & d_i \leq x \end{cases}$$



Capas del ANFIS

Control de Procesos de Control
Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y
desplazamiento
de los sensores

Patrones de
agarre

Estructura del
controlador
ANFIS

Diseño del
controlador
ANFIS

Implementación

Resultados
experimentales
de los patrones
de agarre

Capas del
ANFIS

Simulink

- La segunda capa calcula los pesos de cada función de membresía

$$w_i = \mu_{AB}(x) * \mu_{CD}(y)$$

- La tercera capa se compone de 9 neuronas, cada una representa una regla y se calcula el nivel de activación de cada una
- En la cuarta capa se lleva a cabo la defusificación

$$O_i^4 = w_i^* x f = w_i^* (p_i x + q_i y + r_i)$$

- En la última capa se suman todas las salidas de la capa anterior y se convierte al valor de salida

$$O_i^4 = \sum_i w_i^* x f = \frac{\sum_i w_i f}{\sum_i w_i}$$

Capas del ANFIS

ANFIS

Sensores

Voltaje y desplazamiento de los sensores

Patrones de agarre

Estructura del controlador ANFIS

Diseño del controlador ANFIS

Implementación

Resultados experimentales de los patrones de agarre

Capas del ANFIS

Simulink

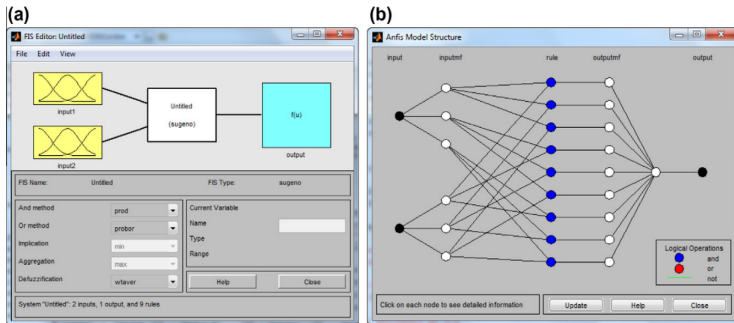


Fig. 12. (a) FIS editor window with 2 inputs and 1 output and (b) the corresponding ANFIS model structure showing all the 5 layer in the ANN architecture.

El modelo de control final se desarrolló utilizando la librería Simulink de Matlab y fue un sistema de bucle abierto. Los comparadores de Simulink separaron los tres patrones de agarre basado en los desplazamientos de entrada iniciales, esto sumado a las pruebas experimentales dió como resultado los siguientes rangos: menos de 10 mm de desplazamiento de entrada es "sin objeto", entre 10 y 25 mm es "cóncavo" y mayor a 25 mm es un patrón de agarre "convexo".

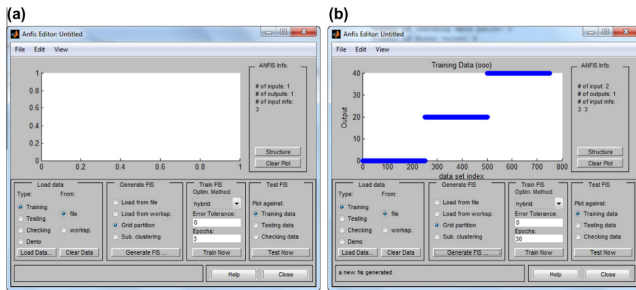


Fig. 10. (a) ANFIS editor window and (b) ANFIS loaded training input/output data pairs.



Simulink

Control de Sistemas de Control
Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y
desplazamiento
de los sensores

Patrones de
agarre

Estructura del
controlador
ANFIS

Diseño del
controlador
ANFIS

Implementación

Resultados
experimentales
de los patrones
de agarre

Capas del
ANFIS

Simulink

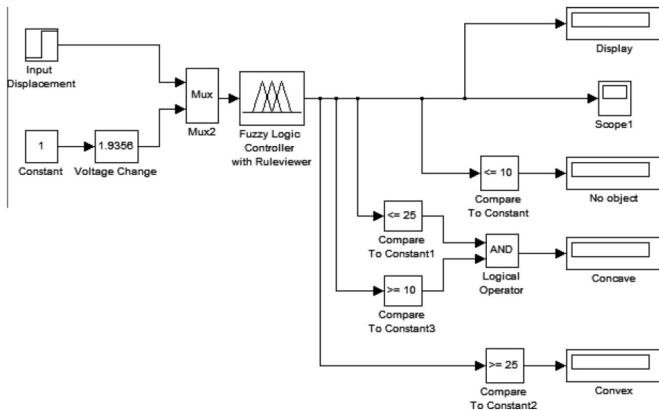


Fig. 9. The developed Simulink model for the input displacement of the gripper using neuro-fuzzy scheme (ANFIS).

El entrenamiento de la red neuronal se realizó para determinar la regla óptima

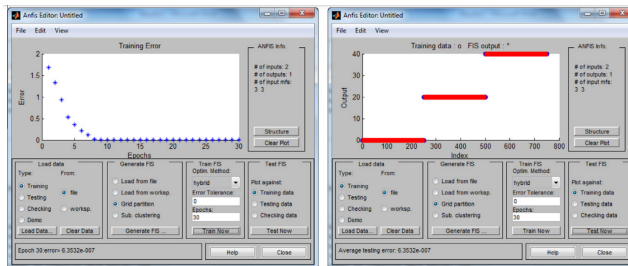


Fig. 13. ANFIS editor: (a) training the rules using back-propagation algorithm and (b) testing the trained FIS.

Funciones de membresía finales

Después del entrenamiento se obtuvieron las siguientes funciones de membresía

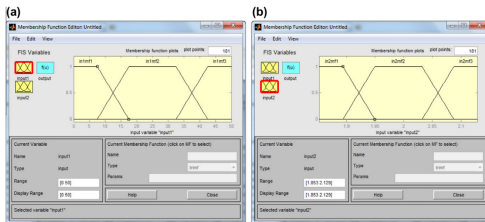


Fig. 11. MF editor for (a) the first input (input displacement) and for (b) the second input (voltage changing).

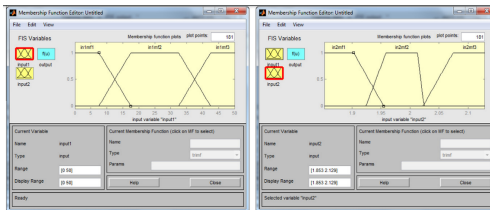


Fig. 14. Membership functions after training process for (a) input 1 and (b) input 2.

Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y desplazamiento de los sensores

Patrones de agarre

Estructura del controlador ANFIS

Diseño del controlador ANFIS

Implementación

Resultados experimentales de los patrones de agarre

Capas del ANFIS

Simulink

Funciones de membresía finales

Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y desplazamiento de los sensores

Patrones de agarre

Estructura del controlador ANFIS

Diseño del controlador ANFIS

Implementación

Resultados experimentales de los patrones de agarre

Capas del ANFIS

Simulink

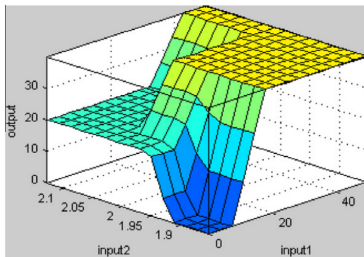


Fig. 15. Surface plot of 3 parameters (2 inputs: input displacement and voltage changing and 1 output: correct input displacement).

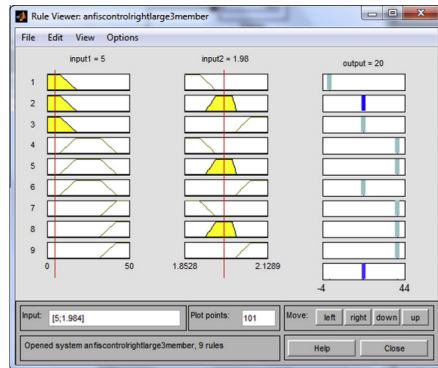


Fig. 16. Rule viewer window for concave grasping pattern.



Conclusiones

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y
desplazamiento
de los sensores

Patrones de
agarre

Estructura del
controlador
ANFIS

Diseño del
controlador
ANFIS

Implementación

Resultados
experimentales
de los patrones
de agarre

Capas del
ANFIS

Simulink

Se observó a partir de los resultados de simulación que al utilizar el control neuro-difuso, para el desplazamiento de entrada de 5 mm y para el voltaje actual de los sensores integrados de 1.984 V, el desplazamiento de entrada determinado por el controlador fue de 20 mm y el patrón de agarre correspondiente fue "cóncavo". Del mismo modo, el controlador para un desplazamiento de entrada de 20 mm y un cambio de voltaje actual de 1.984 V dio una salida de 40 mm (patrón de agarre "convexo") y para un desplazamiento de entrada de 5 mm y un cambio de voltaje de 1.863 V la salida del controlador fue de 0 mm (patrón de agarre "sin objeto").



Conclusiones

Control de Sistemas de Control
Introducción

ANFIS

Sensores

Voltaje y
desplazamiento
de los sensores

Patrones de
agarre

Estructura del
controlador
ANFIS

Diseño del
controlador
ANFIS

Implementación

Resultados
experimentales
de los patrones
de agarre

Capas del
ANFIS

Simulink

El método de agarre utilizado aquí es un principio nuevo y original para el agarre adaptativo. Las principales ventajas del gripper utilizado radican en su cumplimiento distribuido, proceso de fabricación simple, bajo costo, fácil adaptación a cualquier objeto irregular e implementación de sensores integrados para una mejor capacidad de detección.