

Ajuste Evolutivo de un Sistema de Control de Entorno para Personas con Discapacidad utilizando Sistemas Difusos.

F. Chávez, F. Fernández R. Alcalá , J. Alcalá-Fdez, F. Herrera

Dept. Informática

Dept. de Ciencias de la Computación e IA

Univ. de Extremadura

CITIC-UGR, Univ. de Granada

{fchavez, fcofdez}@unex.es

{herrera, alcalá, jalcalá}@decsai.ugr.es

Resumen

En este trabajo se presenta un nuevo enfoque para el control de entorno por medio de un puntero láser para personas con discapacidad. Se propone el diseño de un Sistema Basado en Reglas Difusas para la detección de un punto láser dentro de un entorno real. Se pretende mejorar la eficacia en la detección de puntos láser, reduciendo así los falsos positivos de un sistema previo, minimizando con ello las situaciones peligrosas y no controladas que pueden originarse en el control de los dispositivos.

Con este fin, se ha utilizado un Sistema Genético Difuso para reducir los falsos positivos del sistema de detección. El Sistema Basado en Reglas Difusas presentado en este trabajo ha sido ajustado utilizando un Algoritmo Genético, obteniendo con ello mejores resultados, y eliminando por completo los falsos positivos de los sistemas anteriores.

1. Introducción

Alrededor de 500 millones de personas sufren algún tipo de discapacidad. Esta cifra representa el 10 % de la población mundial, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los retos a los que nos enfrentamos en las próximas décadas pasan por crear una sociedad con mejores condiciones de salud y vida, para todos, pero sobre todo para las personas más necesitadas. Para ello debemos desarrollar nuevos sistemas que permitan facilitar la vida de las personas con discapacidad y las personas mayores, para así conseguir la mejor

calidad de vida para ellos.

Actualmente, las personas con discapacidad tienen ciertos problemas para poder controlar los dispositivos electrónicos de su vivienda. Recientes investigaciones en domótica y desarrollo de hogares inteligentes [2, 3, 7, 9] han permitido la creación de sistemas adaptados a personas con discapacidad.

Entre los trabajos más destacados sobre desarrollo de hogares inteligentes que se encuentran en la literatura especializada, podemos encontrar el presentado en [2]. En este trabajo se presenta un robot que toma un objeto del entorno indicado por una persona con discapacidad a través de un puntero láser. El uso del puntero láser como indicador ha sido utilizado ampliamente [6, 8, 10], donde a través de un puntero láser se pretende controlar los diferentes objetos presentados en una pantalla de proyección, simulando la utilidad del ratón de un ordenador.

Estos trabajos nos han servido como punto de partida para el sistema que se presenta. Un sistema que controla los dispositivos del entorno de una persona con discapacidad a través de las órdenes que éste le da utilizando un puntero láser. El sistema, a través de cámaras, detecta dónde se encuentra el punto láser en el entorno, si este punto se encuentra sobre un dispositivo electrónico, será controlado mediante un sistema de control domótico basado en KNX/EIB [19].

El principal problema de este tipo sistemas es la correcta detección del punto láser originado por el puntero. En los trabajos presentados anteriormente, los autores intentan solucionar

el problema aplicando filtros a las cámaras, sin embargo, el problema está aún abierto, pudiendo ser solucionado utilizando algoritmos especializados sin necesidad de costosos filtros, generando así un sistema mucho más barato para el usuario final.

La principal contribución aportada en este trabajo es la mejora de los algoritmos de detección del punto láser [3]. Esta mejora consiste en la incorporación de un Sistema Basado en Reglas Difusas (SBRD) [20, 21] para aumentar la tasa de aciertos del sistema y tratar de eliminar los falsos positivos (FPos) del mismo, ya que pueden originar situaciones incontroladas y peligrosas. Debido a las condiciones especiales del problema y al contar con una base de datos de imágenes pequeña, el SBRD ha sido diseñado por un experto, ya que conoce el problema y su experiencia aporta beneficios al diseño del mismo. El sistema es mejorado posteriormente aplicando Algoritmos Genéticos (AG) para el ajuste de las Funciones de Pertenencia (FP) [11, 12, 16]. Los resultados obtenidos utilizando el SBRD ajustado, muestran una mejor tasa de acierto, y lo más importante, eliminan completamente los falsos positivos.

El trabajo se divide como se indica a continuación. La sección 2 se introduce el sistema de control de entorno. En la sección 3 se describe el SBRD. En la sección 4 el ajuste aplicado a SBRD. Finalmente, en las secciones 5 y 6, se muestran los resultados obtenidos y algunas conclusiones finales.

2. Descripción del sistema y trabajo previo.

Como se ha mencionado, el sistema de control por medio del puntero láser permite a sus usuarios indicar qué dispositivo desean controlar. El sistema está dividido en tres secciones (ver figura 1).

- Sección 1. Esta primera sección está destinada a los familiares o educadores de los usuarios. Con esta herramienta podrán marcar lo que denominamos “zonas activas”. Estas zonas son las secciones de la

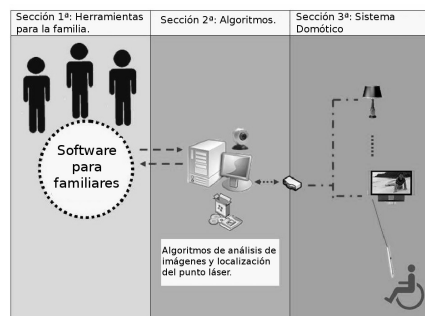


Figura 1: Sistema de control de entorno.

imagen enviada por la cámara correspondiente con el/los dispositivo/s a controlar.

- Sección 2. En esta sección los algoritmos de análisis de imágenes implementados en el sistema analizarán las imágenes enviadas por la cámara para detectar dónde se encuentra el punto láser.
- Sección 3. Si el punto láser está sobre una de las zonas activas y ha sido detectado correctamente, a través de un sistema de control domótico basado en el estándar europeo KNX/EIB [19], se enviarán las órdenes necesarias para controlar el dispositivo asociado con la zona activa donde se ha detectado el punto láser.

La principal contribución de este artículo se centra en la sección 2 anteriormente descrita, donde a través del SBRD se pretende mejorar la tasa de aciertos y eliminar los FPos provocados por otras técnicas previas. Estos algoritmos son descritos por completo, junto con los resultados obtenidos, en el trabajo presentado en [3].

3. Sistema inicial basado en reglas difusas diseñado por un experto.

Tal y como se indica en el trabajo presentado en [3], se obtienen buenos resultados en cuanto a la tasa de aciertos, pero el sistema aún no es capaz de eliminar todos los FPos.

Para mejorar los resultados y tratar de eliminar por completo los FPos de las técnicas anteriores, proponemos un SBRD que determine si la sección correspondiente a la zona activa de la imagen que se está analizando contiene o no un punto láser. Utilizando un SBRD se puede crear un sistema basado en etiquetas [20, 21], similares al lenguaje humano, que a través de un conjunto de reglas difusas [14] puede obtenerse una respuesta del sistema indicando si la imagen contiene un punto láser o no.

El primer paso es determinar un conjunto de variables necesarias para poder analizar las características de un punto láser. La Figura 2 muestra un ejemplo de imágenes con y sin punto láser.



Figura 2: Imagen con punto láser (arriba). Imagen sin punto láser (abajo).

Una característica interesante de un punto láser es su alta energía. Esta alta energía se traduce en valores numéricos en los píxeles afectados por el punto láser cercanos al $[255, 255, 255]$ en un sistema de color Rojo, Verde y Azul (RGB en inglés). Además, podemos observar que un punto láser normalmente tiene forma circular. Atendiendo a estas dos características, que nos pueden definir perfectamente un punto láser, se deben obtener las variables necesarias para representar estas características de forma numérica y que sean analizadas por el SBRD.

La Figura 3 muestra una imagen típica de un punto láser, junto con su histograma. Podemos observar que el histograma posee una concentración de puntos en su parte final, cercanos al valor 255. Esto indica que la fotografía está saturada cerca de este valor. Por ello, necesitamos un algoritmo que sea capaz de eliminar todos los puntos no saturados, quedando únicamente los posibles puntos correspondientes al punto láser. Para cada distribución del histograma se calcula la medida estadística del percentil 80. Con este valor se eliminan todos los puntos que quedan por debajo de él, quedando únicamente los píxeles candidatos de ser un punto láser.

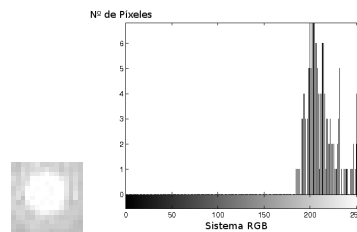


Figura 3: Imagen de punto láser (izquierda). Histograma de la imagen (derecha).

La segunda de las características del punto láser nos indica su similitud a un círculo. Para ello, se utilizan dos nuevas variables que indicarán si la imagen se parece o no a un círculo. Estas variables son la desviación típica (DT) entre los ejes horizontal y vertical del punto láser y la DT entre los ejes oblicuos del punto láser. La Figura 4 muestra un ejemplo de como extraer los datos de estas dos nuevas variables del SBRD.



Figura 4: Punto láser. DT entre los ejes horizontal, vertical y oblicuos.

A continuación, una nueva variable es utilizada, la similitud a un círculo perfecto. Una vez calculado los posibles píxeles correspon-

dientes al punto láser. Se calcula el centro de la figura, se genera un círculo perfecto centrado en esas coordenadas de igual radio, y a través de la técnica de comparación utilizada en [3] Template Matching (TM), se comparan las dos imágenes obteniendo así una cuantificación de su parecido.

Las variables que completan el SBRD son las siguientes:

- X_1 : DT entre los ejes horizontal y vertical.
- X_2 : DT entre los ejes oblicuos.
- X_3 : Similitud al círculo perfecto.
- X_4 : Número de píxeles no eliminados.
- X_5 : Valor del percentil 80.
- Y : Probabilidad de encontrar un punto láser.

La Figura 5 muestra el valor de las FPs asociadas a cada una de las variables del SBRD diseñado por el experto. Estas FPs han sido ajustadas por el experto a mano, para tratar de conseguir los mejores resultados. Una vez diseñado el dominio de cada una de las variables, se define una Base de Reglas (BR) para completar la Base de Conocimiento (BC) del SBRD. Esta BR se muestra en la Tabla 1.

El SBRD obtenido se combina con el la técnica de TM para obtener una nueva técnica híbrida, TM + SBRD. El primer algoritmo TM analiza la sección de la imagen correspondiente con la zona activa con un imagen láser previamente calculada, extrayendo la sección de la imagen candidata a ser el punto láser [3]. Posteriormente, el SBRD analiza esta imagen para determinar si se trata o no de un punto láser. Esta nueva combinación de algoritmos aporta una mejora con respecto a la técnica Template Matching + Umbraliación Dinámica (TM + UD) presentada en [3].

4. Proceso de ajuste genético del sistema basado en reglas difusas.

Una vez que el nuevo sistema TM + SBRD obtiene mejores resultados que las técnicas

previas, el siguiente paso es ajustar las funciones de pertenencia a través de un ajuste genético, por ejemplo utilizando un AG [15, 17]. Este tipo de hibridación entre lógica difusa [20, 21] y AG se conoce como Sistemas Genético Difusos (SGD) [11, 12, 16].

En esta sección se introduce el proceso de ajuste genético junto con el AG utilizado en el ajuste de las FPs del SBRD inicial.

Con el objetivo de mejorar un SBRD, algunos enfoques tratan de mejorar la definición preliminar de la base de datos (BD), es decir, las definiciones de las FPs, o los parámetros del motor de inferencia, una vez que la BR ha sido creada [11, 12, 16]. Para ello, un proceso de ajuste, teniendo en cuenta la BC completa (la BD preliminar junto con la BR obtenida), es realizado a posteriori para ajustar las FPs, o los parámetros del motor de inferencia. Una representación gráfica del proceso de ajuste se muestra en la figura 6.

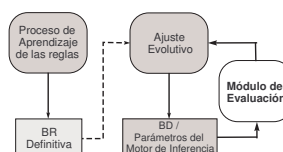


Figura 6: Proceso de ajuste genético.

Uno de los enfoques más ampliamente utilizados para mejorar el rendimiento de SBRDs es el conocido como *ajuste de las FPs*, centrado en la definición de la BD [1, 5, 13, 18]. En [18], podemos encontrar una primera propuesta y del ajuste clásico de las FPs. Debido al amplio uso de las FPs de forma triangular, los métodos de ajuste [5, 11, 18] trabajan sobre la definición de tres parámetros que identifican este tipo de FPs (véase la figura 7).

En este trabajo, realizamos un ajuste de la BD para una FP mejor ajustada al problema, redefiniendo los tres parámetros que identifican la FP de forma triangular, con el fin de mejorar el rendimiento del SBRD, para el problema presentado en este trabajo.

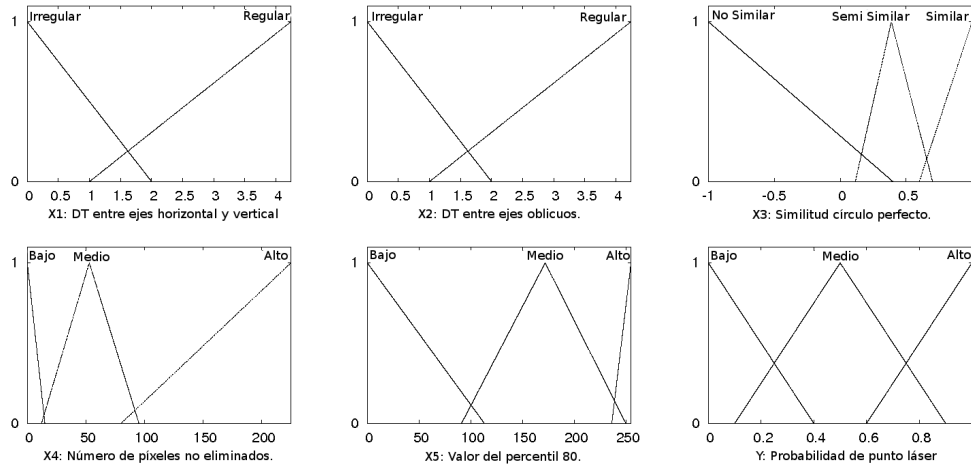


Figura 5: Funciones de pertenencia.

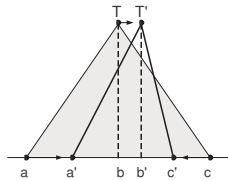


Figura 7: Ajuste de los parámetros básicos en FPs.

4.1. Descripción del algoritmo evolutivo.

Para realizar el ajuste genético se considera un AG que presenta un esquema real de codificación y utiliza el muestreo estocástico universal como procedimiento de selección, junto con un esquema elitista. Los operadores empleados para realizar la recombinación y mutación individuales son la mutación uniforme y el cruce aritmético de máximos y mínimos [4]. A continuación, se detallan los componentes necesarios para diseñar este proceso.

4.1.1. Evaluación del cromosoma.

Para cada ejemplo de entrada, el SBRD genera un valor de salida en el intervalo $[0, 1]$. Si este valor es superior a un valor umbral U la imagen analizada se clasificará como una imagen punto del láser, en caso contrario, la cla-

sificación será como imagen sin punto láser. Por lo tanto, un ejemplo de entrada se puede considerar como:

- Falso negativo (FN). Si la imagen analizada es clasificada como una imagen sin punto láser siendo esta realmente una imagen con punto láser.
- Falso positivo (FPo). Si la imagen analizada es clasificada como una imagen con punto láser siendo esta realmente una imagen sin punto láser.
- Acierto. Si la imagen es clasificada correctamente.

El objetivo del algoritmo es minimizar el número de FNs y FPos obtenidos por el SBRD previo. Para evaluar un determinado cromosoma C_j se utiliza la siguiente expresión:

$$Fn \text{ de evaluación } (C_j) = \frac{|FN|}{|D|} + 3 \cdot \frac{|FPo|}{|D|}$$

donde $|FN|$ es el número de FNs obtenidos, $|FPo|$ es el número de FPos obtenidos y $|D|$ el tamaño del conjunto de datos. Nótese que el número de FPos es penalizado para tratar de eliminar el envío de órdenes incorrectas al sistema de control domótico.

Regla	X1	X2	X3	X4	X5	Y
1	regular	regular	no similar		medio	Bajo
2	regular	regular	similar		medio	Alto
3	regular	regular	semi similar		medio	Alto
4	irregular	irregular	no similar		medio	Bajo
5	irregular	irregular	semi similar		medio	Bajo
6	irregular	irregular	similar		medio	Medio
7			no similar		medio	Bajo
8			semi similar		medio	Bajo
9	irregular	regular			medio	Bajo
10	regular	irregular			medio	Bajo
11				alto	medio	Bajo
12	regular	regular	semi similar	medio	medio	Medio
13					bajo	Bajo
14					alto	Alto

Tabla 1: Base de Reglas.

4.1.2. Esquema de codificación y población inicial.

Cada cromosoma es un vector de números reales con longitud $3 \cdot F + 1$, siendo F el número de FPs. Donde, 3 parámetros indican los valores de las FPs y un valor almacenara el umbral U . El cromosoma C_j tiene la siguiente forma, siendo m^i el número de FPs de cada variable n en la BD.

$$C_j = C_{j1} C_{j2} \dots C_{jn} U_j,$$

$$C_{ji} = (a_{j1}^i, b_{j1}^i, c_{j1}^i, \dots, a_{jm^i}^i, b_{jm^i}^i, c_{jm^i}^i) \quad i = 1..n$$

El gen inicial de la población es creado a partir de la definición inicial de la BD. Esta BD, junto con un $U = 0,5$, se codifica directamente en un cromosoma, denotado como C_1 . El resto de individuos de la población son generados de forma aleatoria, modificando los valores de cada FP o U . La variación de U debe estar entre $[0, 1]$.

5. Resultados.

Para probar la eficacia de los diferentes SBRDs diseñados, comparamos los resultados de ambos con la técnica anterior TM+UD [3]. Para ello se utiliza una base de datos de 105

imágenes, con 65 imágenes con un punto láser y 40 sin punto láser. Este conjunto de imágenes ha sido creado por el experto, siendo una tarea tediosa la clasificación y captura de imágenes en un amplio abanico de situaciones.

Bajo este entorno de trabajo, el experto intenta eliminar completamente los FPos obtenidos por las técnicas anteriores, siendo esto posible mientras que la tasa de aciertos se mantenga o incluso se mejore. La técnica anterior (TM+UD) ha sido aplicada tal y como se describe en [3]. En el caso de los parámetros del AG utilizado para el ajuste del primer SBRD diseñado son: Evaluaciones = 50000; Tamaño de la población = 61; Parámetro para el cruce aritmético de máximos y mínimos $d = 0.35$; Probabilidad de cruce = 0.6; Probabilidad de mutación = 0.1; U inicial = 0.5.

Los resultados obtenidos por las diferentes técnicas son los detallados en la Tabla 2, donde:

- TAG: Tasa de acierto general del sistema.
- TA con PL: Tasa de acierto de imágenes con punto láser.
- TA sin PL: Tasa de acierto de imágenes sin punto láser.

Los resultados obtenidos indican que el SBRD diseñado a partir del conocimiento del

Método	TAG	TA con PL	TA sin PL
TM+UD	76.19 %	63.08 %	97.50 %
TM+SBRD	80.00 %	69.23 %	97.50 %
TM+SBRD(*)	83.81 %	73.85 %	100 %

Tabla 2: Resultados.
 (*) TM+SBRD(ajustado por un AG)

experto mejora la tasa de aciertos de la antigua técnica presentada en [3]. Sin embargo, aún posee algunos FPos. Una vez que el SBRD ha sido ajustado utilizando el AG, los resultados de éste mejoran la eficiencia del sistema. Podemos observar que la tasa de aciertos aumenta y los FPos son eliminados por completo.

Las nuevas FPs resultantes del ajuste con el AG se presentan en la Figura 8.

Podemos afirmar que gracias al conocimiento y experiencia del experto en el diseño del SBRD y el ajuste por medio de un AG, se ha desarrollado un sistema capaz de eliminar los FPos de las técnicas antiguas, aumentando además la tasa de aciertos del mismo.

6. Conclusiones.

En este trabajo presentamos un nuevo enfoque para el control de entorno por medio de un puntero láser para personas con discapacidad. El trabajo analiza la aplicación de los SGDs para detección de puntos láser en imágenes. Para ello, se ha desarrollado un SBRD inicial por un experto, siendo ajustado por un AG posteriormente, obteniendo mejores resultados que con los sistemas previos. El proceso de ajuste genético nos ha permitido obtener un nuevo conjunto de FPs, incrementando con ello la tasa de aciertos hasta un 73,85 % y lo más importante el 100 % de aciertos en imágenes sin punto láser, lo que nos permite hablar de un sistema sin FPos. Esta es la principal contribución de este trabajo, un sistema de detección de un punto láser en el que se han anulado por completo los FPos y con ello se evitan las situaciones incontroladas y peligrosas sobre los dispositivos del entorno.

Agradecimientos.

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia bajo el proyecto TIN2008-06681-C06-01 y por la Junta de Extremadura.

Referencias

- [1] J. Espinosa and J. Vandewalle. Constructing fuzzy models with linguistic integrity from numerical data-afreli algorithm. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(5):591–600, 2000.
- [2] Ch.C. Kemp et al. A point-and-click interface for the real world: laser designation of objects for mobile manipulation. pages 241–248. ACM, 2008.
- [3] F. Chávez et al. An independent and non-intrusive laser pointer environment control device system. In *Proceedings of the 5th international conference on Pervasive services (ICPS'08)*, pages 37–46. ACM, 2008.
- [4] F. Herrera et al. Tuning fuzzy logic controllers by genetic algorithms. *International Journal of Approximate Reasoning*, 12(3-4):299–315, 1995.
- [5] J. Casillas et al. Genetic tuning of fuzzy rule deep structures preserving interpretability and its interaction with fuzzy rule set reduction. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 13(1):13–29, 2005.
- [6] Ji-Young Oh et al. Laser pointers as collaborative pointing devices. pages 141–150, 2002.
- [7] Kwang-Hyun Park et al. Robotic smart house to assist people with movement disabilities. *Autonomous Robots*, 22(2):183–198, 2007.
- [8] L. Zhang et al. Drag and drop by laser pointer: Seamless interaction with multiple large displays. pages 12–20. Springer, 2006.

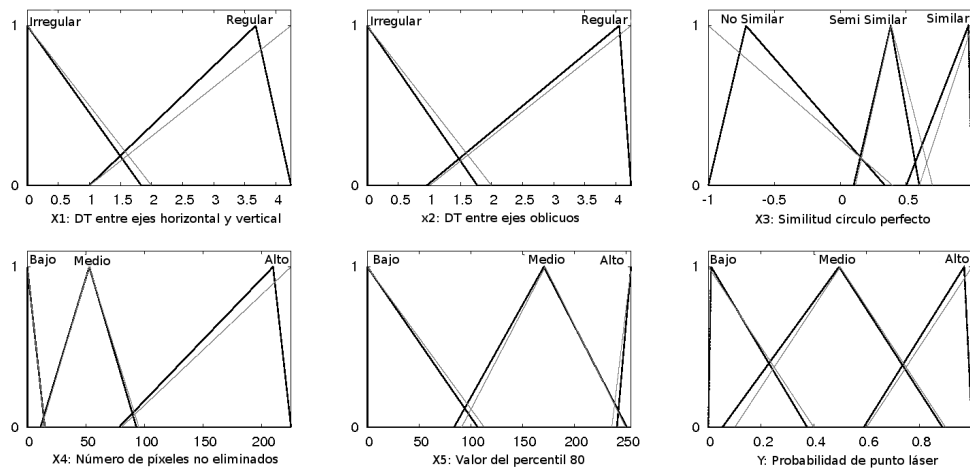


Figura 8: Funciones de pertenencia ajustadas.

- [9] M. Chan M et al. A review of smart homes-present state and future challenges. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 91(1):55–81, 2008.
- [10] Nam Woo Kim et al. Vision based laser pointer interaction for flexible screens. pages 845–853. Springer, 2007.
- [11] O. Cerdón et al. *GENETIC FUZZY SYSTEMS. Evolutionary Tuning and Learning of Fuzzy Knowledge Bases*. World Scientific, New York, USA, 2001.
- [12] O. Cerdón et al. Ten years of genetic fuzzy systems: current framework and new trends. *Fuzzy Sets and Systems*, 141(1):5–31, 2004.
- [13] R. Alcalá et al. A proposal for the genetic lateral tuning of linguistic fuzzy systems and its interaction with rule selection. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(4):616–635, 2007.
- [14] R. Alcalá et al. Improving fuzzy logic controllers obtained by experts: A case study in HVAC systems. *Applied Intelligence*, 31(1):15–30, 2009.
- [15] D.E. Goldberg. *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley Professional, Upper Saddle River, NJ, USA, 1989.
- [16] F. Herrera. Genetic fuzzy systems: taxonomy, current research trends and prospects. *Evolutionary Intelligence*, 1(1):27–46, 2008.
- [17] J.H. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, USA, 1975.
- [18] Chuck K. Genetic algorithms for fuzzy controllers. *AI Expert*, 6(2):26–33, 1991.
- [19] KNX/EIB. <http://www.knx.org>.
- [20] L. A. Zadeh. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3:28–44, 1973.
- [21] Lofti A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8:338–353, 1965.