

PROCESAMIENTO DIFUSO DE SEÑALES DE ECO ULTRASÓNICO PARA USO EN ROBÓTICA MÓVIL

Marcela Vallejo Valencia *, Carlos Andrés Gallón Villegas **, John Fredy Ochoa Gómez **, John William Branch Bedoya **

*Universidad de Antioquia emavv736@udea.edu.co,

**Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín {cagallon , jfochoa , jwbranch }@unal.edu.co

Resumen: Este artículo presenta el uso de un filtro difuso y su posterior optimización mediante algoritmos genéticos para la reducción de ruido en la lectura de distancias mediante sensores de ultrasonido. El trabajo está orientado a su utilización en robótica móvil.

Palabras Claves: Filtros Difusos, algoritmos genéticos, sensores ultrasónicos.

Abstract: This article presents the use of a diffuse filter for the reduction of noise in the reading of distances using ultrasound sensors. Furthermore, proposes to use genetic algorithms for the optimization of the filter. The work is oriented its use in mobil robotics.

Keywords: Fuzzy Filters, genetics algorithms, ultrasonic sensors.

1. INTRODUCCIÓN

En el trabajo con robótica móvil, especialmente en lo que se refiere a vehículos autónomos, es de vital importancia que la información acerca de la ausencia o presencia, y su posible distancia, de otros objetos que puedan haber en el entorno sea obtenida con un alto nivel de fiabilidad de manera que el robot pueda cumplir de manera eficiente con sus tareas.

Cuando se habla de mediciones de distancia lo más óptimo es usar métodos que no necesiten contacto físico, y en esta área se encuentran principalmente dos opciones: los sistemas ópticos y los ultrasónicos [1].

Los ópticos tienen mejor precisión y presentan menor sensibilidad a condiciones ambientales, pero son costosos. Los ultrasónicos son sistemas más simples y económicos, pero sufren de problemas como absorción y atenuación en el medio, baja resolución y alta dependencia de las condiciones ambientales.

Para combatir los problemas de incertidumbre asociados a la mayoría de sensores se han planteado varias alternativas: teoría de probabilidades, redes bayesianas, teoría de Dempster-Shafer, redes neuronales, lógica difusa, filtros Kalman, entre otros.

En este artículo se propone el uso de un filtro difuso optimizado por medio de algoritmos genéticos para el tratamiento de la señal obtenida.

En la sección 2 se hará un pequeño recuento de los conceptos básicos de lógica difusa y algoritmos genéticos. En la sección tres se hace una descripción del problema y del método de solución, en la sección cuatro se muestran los resultados obtenidos y, finalmente, en la sección cinco se hacen algunas conclusiones.

2. RECUESTO DE CONCEPTOS BASICOS

Dos de las aplicaciones más exitosas de la inteligencia computacional son la llamada lógica borrosa (Fuzzy Logic) y los algoritmos genéticos; la primera es una aproximación a la manera en la que el cerebro razona, los segundos son métodos de optimización estocásticos, que simulan el proceso de la evolución biológica.

2.1 Lógica difusa:

La lógica difusa permite estructurar el conocimiento que se tenga de un dominio sin importar que este provenga de fuentes de información imprecisas.

Los sistemas difusos, una de las aplicaciones de la lógica difusa, se basan en la teoría de conjuntos difusos en la cual un elemento dado puede tener un grado de pertenencia cualquiera entre (0,1) a un conjunto determinado. Adicional a esto se utiliza un sistema de reglas (*If-then rules*) que permiten modelar el comportamiento del sistema en términos de las relaciones que hay entre los datos de entrada/salida.

Los sistemas difusos pueden obtenerse de dos formas: a partir del conocimiento dado por un experto [2], o mediante conjuntos de datos de entrada / salida del sistema y alguna técnica de aprendizaje máquina [3].

La solución propuesta en el presente artículo es un sistema difuso que dada su capacidad para corrección de ruido en una señal se conoce como filtro difuso [4].

PROCESAMIENTO DIFUSO DE SEÑALES DE ECO ULTRASÓNICO PARA USO EN ROBÓTICA MÓVIL

Los filtros difusos manejan funciones de pertenencia del tipo gaussiano dado que estas curvas son buenas para modelar diferentes tipos de situaciones ruidosas [5].

2.2 Algoritmos genéticos.

Los algoritmos genéticos son métodos de optimización y búsqueda estocásticos que simulan el proceso de la evolución biológica para encontrar soluciones a problemas.

Para resolver un problema mediante algoritmos genéticos se deben seguir una serie de pasos:

- Se debe definir una población inicial de soluciones, ya sea de manera aleatoria o iniciando con unos valores que se consideren próximos a la solución buscada.

- Determinación de las funciones objetivo y fitness. La primera indica cual es el impacto de un individuo con respecto a la solución buscada, y la segunda se encarga de transformar el valor de la función objetivo en una medida de desempeño.

- Elección del método que se utilizará para seleccionar a los individuos más aptos de la población (método de ruleta, muestreo estocástico con reemplazo parcial, muestreo estocástico universal entre otros) y la forma en que estos individuos seleccionados serán recombinados para producir la nueva generación (crossover uniforme, crossover de múltiples puntos, shuffle, reduced surrogate entre otros)

- Debe decidirse de cuantos individuos estará formada la población y cuantas generaciones se hará evolucionar esta.

Hay que tener en cuenta que entre mas individuos se tengan, mayor espacio de búsqueda podremos cubrir, pero también será mayor la carga computacional.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y METODO DE SOLUCION

El problema consiste en la obtención de mecanismos que permitan adquirir información mediante sensores ultrasónicos de una manera fiable y que, adicionalmente, presenten una solución de tipo modular y de bajo costo computacional, de manera tal que pueda adaptarse como parte de un sistema más complejo, como lo es un robot.

Los elementos de mayor influencia que pueden afectar el comportamiento de los sensores ultrasónicos son: La temperatura, la composición del objeto que reflejará la onda ultrasónica, su localización y movimiento, el medio de propagación y el ruido acústico.

El esquema general de un sensor ultrasónico se puede apreciar en la figura 1.

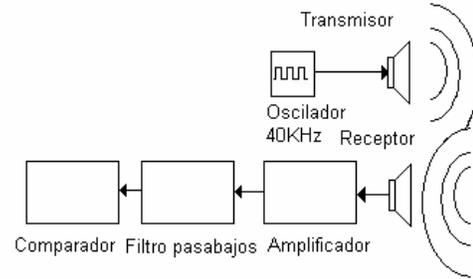


Figura 1. Esquema de Sensor Ultrasónico

La medida de la distancia se encuentra por lo general teniendo como referencia el tiempo que tarda una señal emitida en ser captada por el receptor –tiempo de vuelo de la señal-.

$$D = (V * t) / 2 \text{ ec. 1}$$

D = distancia

V = velocidad del sonido en el aire

t = tiempo de vuelo

El papel del filtro difuso, será el de tomar la distancia, calculada mediante el tiempo de vuelo del eco ultrasónico, y llevarla a un valor más aproximado a la distancia real.

El sistema propuesto es un sistema SISO (Single Input, Single Output), el cual tendrá como entrada la diferencia entre el valor leído de los sensores y un valor esperado determinado por la lógica interna del sistema, y tendrá como salida un valor que ponderará el dato leído.

De esta forma el sistema cuenta con:

- Si: Señal de entrada i al sistema.

- Pi: Valor esperado i por el sistema.

- Diff: Diferencia entre el valor leído y el valor esperado.

- Alpha: Valor de ponderación resultante del sistema

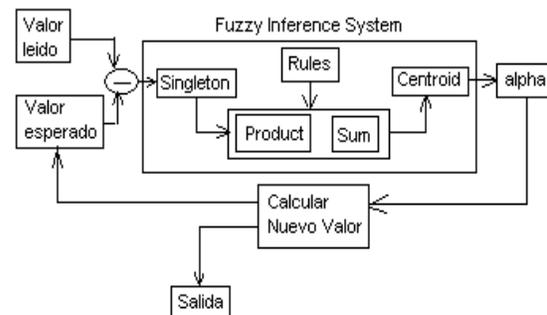


Figura 2. Arquitectura de la solución propuesta.

Se hace uso de dos variables difusas en el sistema: *Diferencia* y *Ponderación*. Los términos para ambas

variables tienen asociados funciones de pertenencia del tipo gaussiano (tablas I y II).

La función que permite determinar el valor filtrado es la siguiente:

$$Si' = \text{Alpha} * Si + (1 - \text{Alpha}) * Pi \quad \text{ec2.}$$

| Términos de Diferencia | Puntos de definición (μ, σ) |
|------------------------|--|
| Small | (0.0,0.5) |
| Médium | (5,1.062) |
| Large | (10,1.099) |

Tabla I. Términos para Diferencia

| Términos de Ponderación | Puntos de definición (μ, σ) |
|-------------------------|--|
| Low | (0.0,0.05) |
| Médium | (0.5,0.1062) |
| High | (1,0.1099) |

Tabla II. Términos para Ponderación

| |
|---|
| Reglas del sistema |
| <i>If Diferencia is small then Ponderación is High</i> |
| <i>If Diferencia is medium then Ponderacion is medium</i> |
| <i>If Diferencia is high then Ponderacion is low</i> |

Tabla III. Reglas del sistema difuso

Hay muchas perspectivas para optimizar un sistema de inferencia difusa mediante algoritmos genéticos [6]. El enfoque propuesto busca trabajar sobre los parámetros que definen las funciones de pertenencia, de esta manera dado que el sistema cuenta con 6 términos en total, y cada término cuenta con dos parámetros que lo definen, la media y la desviación estándar, cada cromosoma estará definido por doce genes, cada gen representando un parámetro de una función de pertenencia dada. La configuración de cada cromosoma se puede observar en la Figura 4.

La configuración del mecanismo de evolución fue el siguiente: se tomo como punto de inicio los parámetros dados en las tablas I y II y a partir de estos se genero una población aleatoria de 50 individuos. La función objetivo se encarga de medir el error cuadrático medio que genera la aplicación de cada individuo en el sistema y el fitness esta orientado a la disminución del error cuadrático medio.

$$\text{Fitness} = 5000 - 1000 * \text{ECM} \quad \text{ec3.}$$

Los diez mejores individuos de cada generación son utilizados para reproducir la generación siguiente.

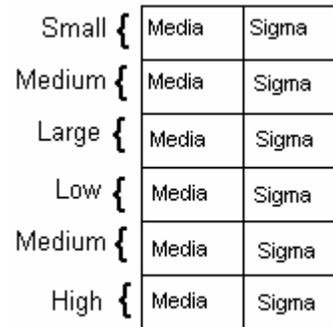


Figura 4. Estructura de un cromosoma.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Para probar el desempeño del filtro difuso se tomaron medidas con el sistema de ultrasonidos cada centímetro para distancias desde 0cm hasta los 17cm.

El sistema optimizado luego de diez generaciones cuenta con los siguientes parámetros (tablas IV y V):

| Términos de Diferencia | Puntos de definición (μ, σ) |
|------------------------|--|
| Small | (0.10259692615987048, 0.709952996012207) |
| Médium | (4.022706526951588, 0.5627035258408343) |
| Large | (8.084071730926755, 1.3655293398016268) |

Tabla IV. Parámetros para los términos de Diferencia

| Términos de Ponderación | Puntos de definición (μ, σ) |
|-------------------------|---|
| Low | (0.13241946920140119, 0.0631215854965343) |
| Médium | (0.4000090331311107, 0.08748826915522598) |
| High | (0.8914529016186891, 0.12194914778683119) |

Tabla V. Parámetros para los términos de Ponderación

Las siguientes graficas muestran la evolución del desempeño del sistema:

PROCESAMIENTO DIFUSO DE SEÑALES DE ECO ULTRASÓNICO PARA USO EN ROBÓTICA MÓVIL

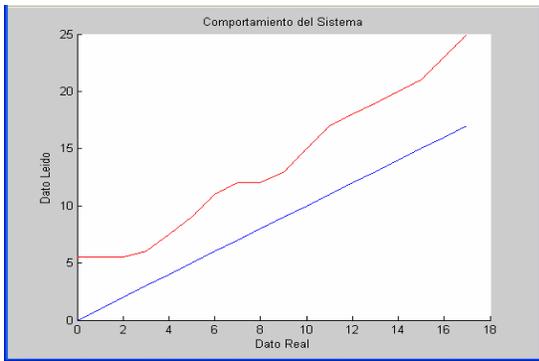


Figura 5. Datos esperados -azul- y leídos de los sensores -rojo-

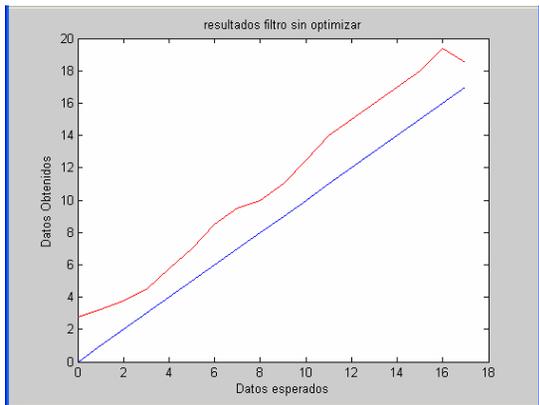


Figura 6. Datos esperados -azul- y filtrados -rojo- mediante el primer filtro propuesto.

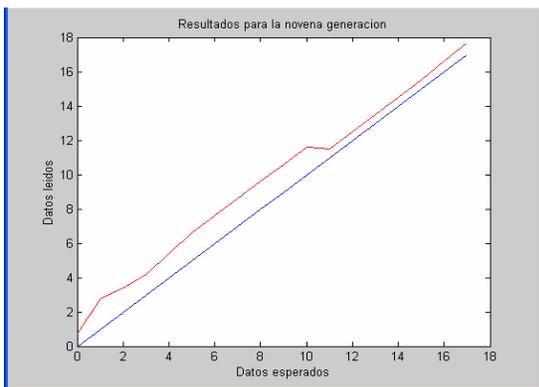


Figura 7. Datos esperados -azul- y filtrados -rojo- mediante mejor filtro generación 10.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Dada la naturaleza de la solución propuesta: un sistema SISO con fuzzificador Singleton, unas pocas operaciones aritméticas y una pequeña memoria para almacenar el valor esperado; se puede esperar su fácil implementación en un sistema embebido con capacidades de computo razonables. De esta manera el esquema de trabajo sería la sintonización

del filtro *off-line* para su posterior implementación en la plataforma móvil.

Pese a las expectativas que genera el enfoque de optimización mediante algoritmos genéticos se observó que luego de diez generaciones era muy poco probable encontrar una solución más óptima y que el sistema comenzaba a oscilar. Un acercamiento posterior permitirá sacar un mejor provecho de este método de búsqueda.

Trabajos futuros estarán orientados a la implementación de sistemas de fusión sensorica que permitan obtener redundancia en los datos y mejoren las estimaciones sobre las lecturas.

| Numero de Generación | Error Cuadrático Medio |
|----------------------|------------------------|
| Original | 27.7777777777778 |
| 0 | 6.13443430123003 |
| 5 | 1.61781975609462 |
| 9 | 1.42854839602251 |

Tabla VI. Disminución del error cuadrático medio.

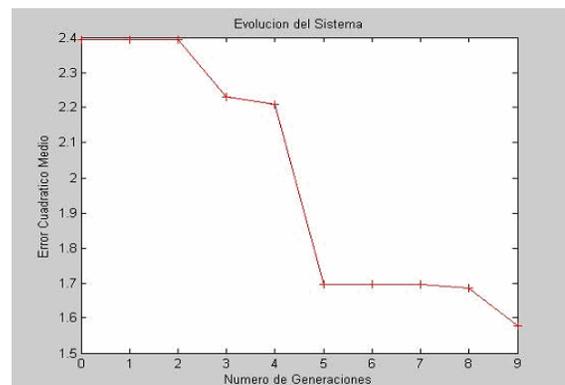


Figura 8. Evolución de la disminución del error cuadrático medio.

6. REFERENCIAS

- [1] Córdoba Juan P., Mejía Alejandro, Caldas Jaima A., Ríos Luis H.; "Diseño y construcción de un anillo de sensores ultrasónicos para el levantamiento de mapas de entorno y generación de trayectorias"; Scientia et Technica Año X, No 24, Mayo 2004.
- [2] Chuen Chien Lee; "Fuzzy Logic in Control System: Fuzzy Logic Controller-Part 1", IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics, vol. 20, no. 2, march/april 1990.

[3] Kuan-Shiu Chiu, Andrew Hunter; “*GA design of crisp fuzzy logic controllers*”; Proceedings of the 1999 ACM symposium on Applied computing , February 1999.

[4] Chao-Yin Hsiao; Chi-Chih Lai; “*Analysis and design of fuzzy filter algorithms*”; Industrial Automation and Control: Emerging Technologies, 1995., International IEEE/IAS Conference on 22-27 May 1995

[5]Lee Ricky, Stanley Kevin, Wu Jonathan. “Implementation of sensor selection and fusion using fuzzy logic”, IEEE 2001.

[6] F. Herrera, L. Magdalena, “*Genetic fuzzy systems: A tutorial*”; Disponible en <http://citeseer.ist.psu.edu/171532.html>

John Fredy Ochoa Gómez: Estudiante de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional de Colombia. Integrante del semillero de Agentes Inteligentes Kapek y del proyecto de investigación en robótica cooperativa SMART, ambos de la Universidad Nacional. Las áreas de interés comprenden: Sistemas Multi-Agentes Robóticos, Lógica Difusa, Planificación Automática y Sistemas Evolutivos.

Marcela Vallejo Valencia: Estudiante de Ingeniería electrónica de la Universidad de Antioquia. Integrante del semillero de Agentes Inteligentes Kapek y del proyecto de investigación de robótica cooperativa SMART. Las áreas de interés comprenden Robótica móvil, Lógica Difusa, Control digital y Sistemas Evolutivos.

Carlos Andres Gallón Villegas: Estudiante de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional de Colombia. Integrante del semillero de Agentes Inteligentes Kapek de la Universidad Nacional. Las áreas de interés comprenden: Sistemas Multi-Agentes Software y Robóticos,

John Willian Branch Bedoya: M.Sc, Ph.D(c). Profesor Escuela de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.. Miembro del Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial. Área de Interés: Visión Artificial