

FUSIÓN DE DATOS FUZZY APLICADA A LA DETECCIÓN DE POSICIONAMIENTO DE PIEZAS CON SENSORES DE ULTRASONIDOS

E. González Sarabia, J. R. Llata García, C. Torre Ferrero, A. Puras Trueba, J. Pérez Oria
Departamento de Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática
E. T. S. de Ingenieros Industriales y Telecomunicación, Universidad de Cantabria
Avda. Los Castros s/n, 39005, Santander, Cantabria.
[esther, llata, carlos, oria] @teisa.unican.es

Resumen

En el presente trabajo se muestra una aplicación industrial de fusión de datos con lógica fuzzy para la detección tridimensional de orientaciones de objetos. El sistema aplica un procedimiento de clasificación basado en lógica fuzzy a partir de los datos obtenidos de un array de sensores ultrasónicos. Basándose en esta información se ha construido un sistema que es capaz de distinguir entre una gran variedad de orientaciones en tres dimensiones para una pieza.

Palabras Clave: Sistemas fuzzy, fusión de datos, integración multisensorial, automatización industrial, sensores de ultrasonidos.

1 INTRODUCCIÓN

El reconocimiento de objetos en la industria es una práctica muy común necesaria usualmente en cualquier línea de fabricación. De esta forma se permite por ejemplo automatizar el encadenamiento de diferentes etapas en una línea de producción o la detección de posiciones y orientaciones de piezas en aplicaciones de robótica. En ese trabajo se emplea para ello la información procedente de sensores ultrasónicos.

El uso de los ultrasonidos en este tipo de aplicaciones tiene gran interés ya que este tipo de sensores presentan características tales como la robustez y su bajo coste. Estas características pueden ser una gran ventaja cuando se compara el sistema propuesto con aplicaciones similares realizadas mediante cámaras de visión artificial. El coste de la aplicación completa es muy bajo debido a la simplicidad del hardware y equipamiento necesitado y el bajo coste de los sensores de ultrasonidos. Otra ventaja es su posible utilización en entornos donde la visión artificial no puede trabajar como por ejemplo situaciones de falta de iluminación o presencia de humos.

Los ecos ultrasónicos contienen información intrínseca acerca de la distancia, posicionamiento y orientación de los elementos enfocados que, con un adecuado procesamiento de dichas señales, puede ser muy útil para la aplicación en sistemas de reconocimiento. También el tiempo de procesamiento de dichas señales es menor que el necesitado en visión artificial, lo que es muy importante en aplicaciones en tiempo real. Sin embargo los ultrasonidos tienen algunos inconvenientes relacionados con los parámetros ambientales del medio de propagación, tales como la temperatura o la humedad que producen pequeñas variaciones en la presión acústica medida por los receptores, y otros factores como las vibraciones mecánicas o las turbulencias de aire que producen variaciones aleatorias en la señal.

Para trabajar con esta incertidumbre introducida por los sensores de ultrasonidos se emplea en este trabajo un sistema de fusión con lógica fuzzy. El sistema ha sido diseñado para facilitar información tridimensional acerca del posicionamiento del objeto respecto del array.

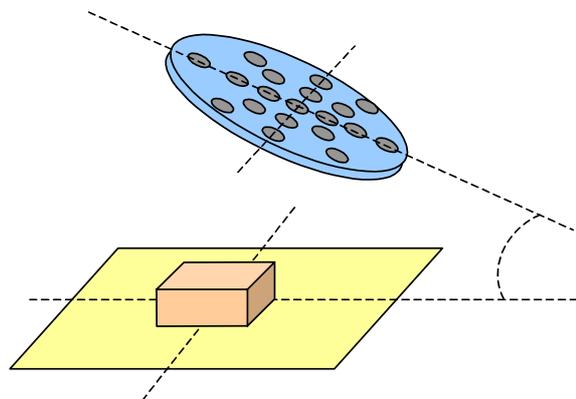


Figura 1: Ejemplo de situación relativa entre el array sensorial y el plano del objeto.

2 CONFIGURACIÓN

El sistema está formado por un array circular de sensores ultrasónicos. La disposición de los sensores en el array se realiza formando tres circunferencias concéntricas de ocho sensores cada una. Esto da lugar a un total de veinticuatro sensores uniforme y simétricamente espaciados en el array. Existe en esta configuración un único sensor emisor situado en el punto central del array.

En el momento de la operación este array estará enfocando hacia la pieza a detectar, pero no necesariamente formando un plano paralelo respecto a la superficie donde se encuentra situada. La figura 1 muestra un posible caso de la posición relativa entre el objeto y el array.

Dependiendo de la aplicación considerada el tamaño del array debe ser adaptado a las dimensiones de los objetos a detectar y a su localización en el sistema, ya sea que pueda ir montado en la pinza de un robot o en una estructura estática. Gracias a las pequeñas dimensiones y peso de los sensores de ultrasonidos el array admite variadas configuraciones.

Las características de los sensores de ultrasonidos utilizados se muestran en la tabla 1.

Fabricante	Murata
Tipo	MA 40B8 R/S
Frecuencia	40 kHz
Directividad	50°
Distance detectable	0.2-4m
Diametro	17mm

Tabla 1: Principales características de los sensores.

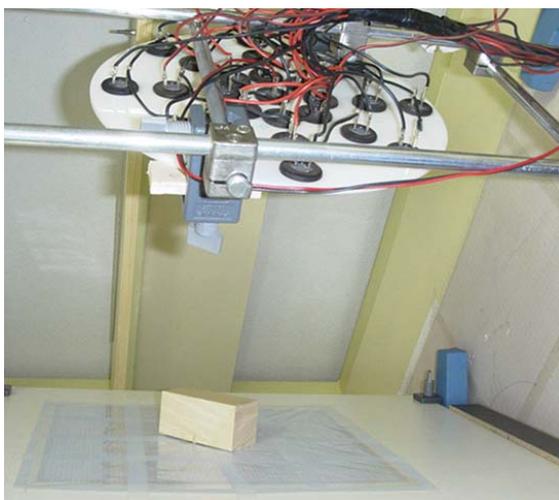


Figura 2: Estructura experimental del array de sensores ultrasónicos empleada.

La figura 2 muestra la estructura básica empleada para este trabajo. El modo de operación utilizado para el proceso de emisión y recepción es el de pulso-eco.

3 PARÁMETROS DEL ECO

La señal recibida por el receptor está llena de información sobre la superficie enfocada. Para la selección de parámetros se ha tenido en cuenta la carga computacional que el uso de gran cantidad de parámetros puede causar. Por este motivo, del total de información que puede ser extraída del eco recibido se han seleccionado una pequeña cantidad de parámetros para poder obtener un sistema capaz de operar sin grandes retardos.

Para la señal de eco recibida y desde cada sensor receptor se han extraído un par de características relevantes, como son el tiempo de vuelo y la amplitud del máximo. En la figura 3 puede verse la señal de pulso empleada para excitar el emisor y el correspondiente eco recibido por uno de los receptores, así como los parámetros del eco seleccionados.

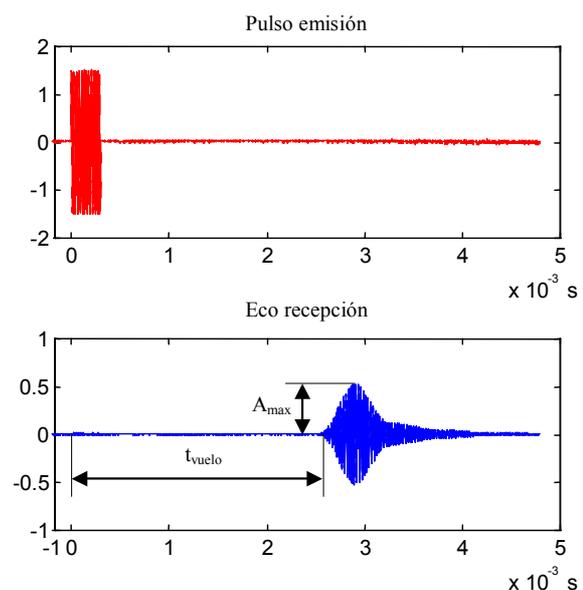


Figura 3: Señales de emisión y recepción y parámetros analizados.

Para obtener una buena eficacia del sistema se ha llevado a cabo un gran número de experimentos y se han calculado una serie de parámetros estadísticos a partir de los datos obtenidos. Para ello se ha supuesto que la función de densidad de probabilidad para todos los parámetros se ajusta a una distribución normal [1]. De esta forma el total de datos experimentales ha sido reducido a un conjunto de distribuciones normales fijadas por el valor medio y la desviación estándar. Esta información será empleada para la generación de las funciones de

pertenencia de las entradas relacionadas. Puede verse en la tabla 2 los datos estadísticos generados a partir de la información de los sensores, donde cada clase corresponde a una posición relativa del objeto.

Clase del objeto	Parametro 1	Parametro 2
Clase 1	μ_{11}, σ_{11}	μ_{12}, σ_{12}
Clase 2	μ_{21}, σ_{21}	μ_{22}, σ_{22}
...		
Clase n	μ_{n1}, σ_{n1}	μ_{n2}, σ_{n2}

Tabla 2: Datos estadísticos.

4 SISTEMA FUZZY

Según lo indicado en la sección de introducción, la información que facilita el eco contiene un cierto grado de incertidumbre debido a variados factores. Se ha empleado un sistema fuzzy para poder tener en cuenta estas características de la información aportada por los sensores ultrasónicos. El sistema fuzzy desarrollado se empleará para obtener información sobre la posición relativa de la pieza objetivo respecto al array de sensores.

En el experimento considerado se han analizado diferentes inclinaciones respecto de la superficie de apoyo de la pieza así como diferentes ángulos de rotación del objeto sobre dicho plano. A continuación se muestra un ejemplo reducido utilizando una pieza con dos ejes de simetría. Para el ejemplo la pieza ha sido rotada ángulos que van desde los 0 a los 180 grados y ha sido enfocada con el array con ángulos relativos entre 0 y 20 grados. Para el ejemplo se han tenido en cuenta ciento veinte combinaciones de estos dos movimientos relativos.

Las entradas al sistema son los parámetros del eco para cada uno de los sensores receptores, lo que hace un total de cuarenta y ocho entradas. Después del tratamiento estadístico de los datos experimentales se obtienen los parámetros correspondientes a las funciones de pertenencia relacionadas con cada sensor.

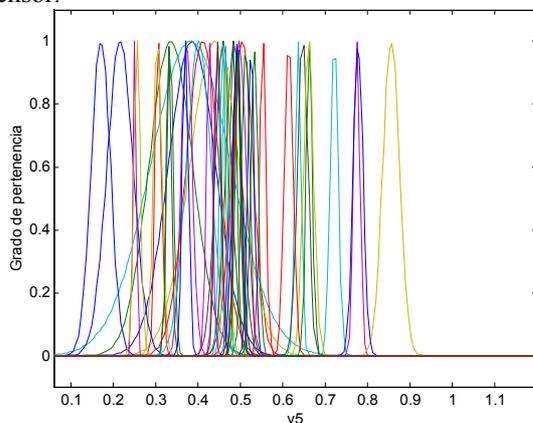


Figura 4: Funciones de pertenencia para la amplitud de la entrada cinco.

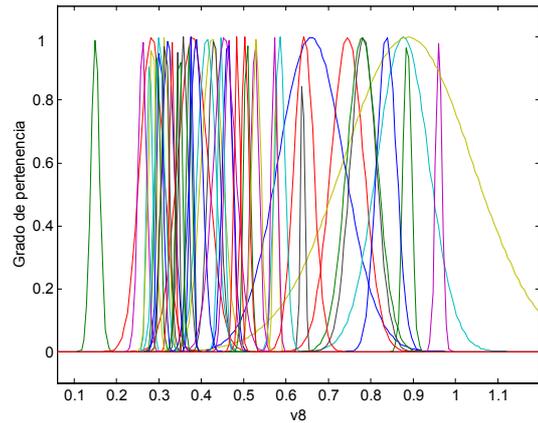


Figura 5: Funciones de pertenencia para la amplitud de la entrada ocho.

En las figuras 4 y 5 pueden verse el conjunto de dichas funciones para el parámetro amplitud del eco correspondiente a los sensores número cinco y ocho, y las figuras 6 y 7 otros dos ejemplos esta vez correspondiente al tiempo de vuelo para los sensores 9 y 16.

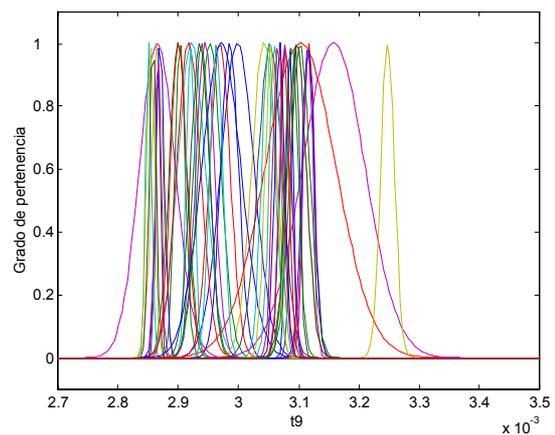


Figura 6: Funciones de pertenencia para el tiempo de vuelo de la entrada 9.

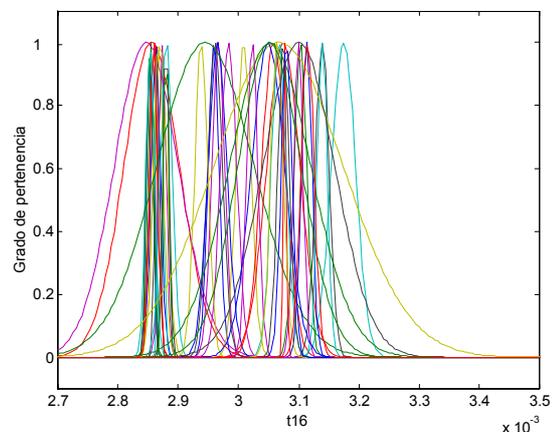


Figura 7: Funciones de pertenencia para el tiempo de vuelo de la entrada 16.

El siguiente paso será la definición del conjunto de reglas a ser utilizadas por el sistema fuzzy. En este caso el sistema de reglas se obtiene también a partir de la información estadística según [4], obteniéndose la siguiente estructura de reglas para cada entrada al sistema fuzzy.

IF entrada1 es valor_1 THEN salida1 es clase_1
 IF entrada1 es valor_2 THEN salida1 es clase_2
 ...
 IF entrada1 es valor_n THEN salida1 es clase_n

Este modo de construir el conjunto de reglas da lugar a un gran número de ellas, pero de gran simplicidad. Este conjunto será la base para el proceso de toma de decisiones, que puede ser mejorado después por el conocimiento de un experto añadiendo nuevas reglas al conjunto base.

Se emplea en esta caso el tipo de subsistema de decisión Takagi-Sugeno donde las funciones de pertenencia de las variables de salida son singletons. En las figuras 8 y 9 se presentan, para el ejemplo experimental realizado las funciones de pertenencia que han sido consideradas para las salidas.

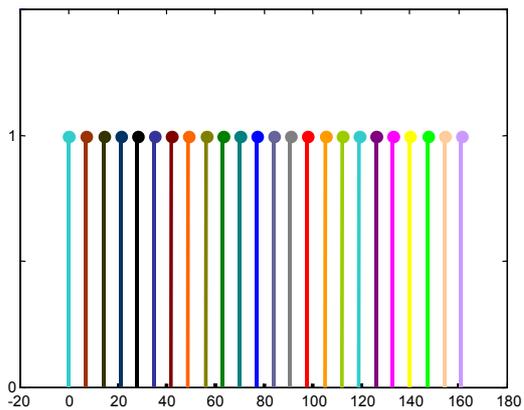


Figura 8: Funciones de pertenencia para la primera salida.

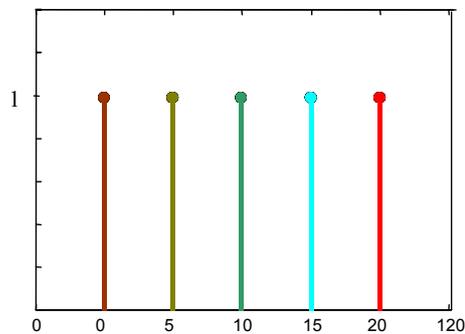


Figura 9: Funciones de pertenencia para la segunda salida.

El método de agregación combina la información de las entradas con el conjunto de reglas, proporcionando el resultado correspondiente. Para esta aplicación el resultado es obtenido mediante la adición de las amplitudes de los singleton de cada clase de salida obtenidos antes del proceso de agregación.

4 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Las siguientes figuras muestran los resultados obtenidos para tres situaciones nuevas. Estos ejemplos corresponden a aplicar el sistema propuesto a tres casos desconocidos dentro del rango de posiciones analizadas. La figura 10 muestra la primera situación analizada. En este caso puede verse como el sistema clasifica claramente la situación de la pieza a la clase 24, es decir, la posición de la pieza corresponde con una gran probabilidad a la clase 24 quedando el resto de clases con una probabilidad muy inferior en comparación con la clase dominante.

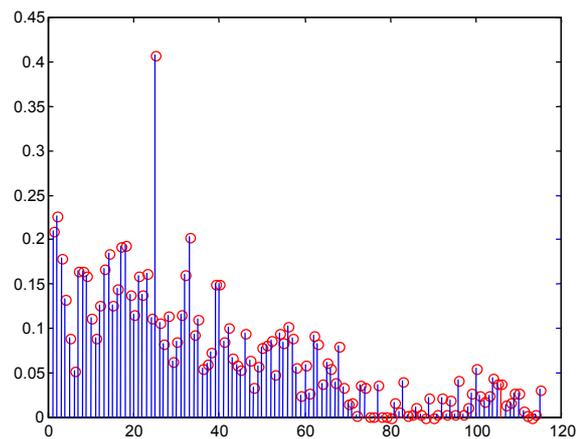


Figura 10: Caso clasificado como perteneciente a la clase 24.

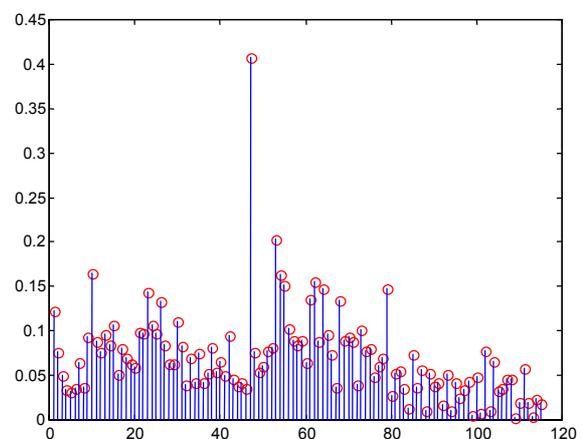


Figura 11: Caso clasificado como perteneciente a la clase 47.

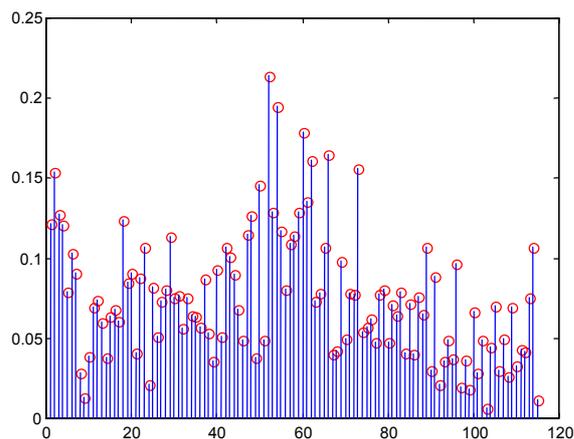


Figura 12: Caso clasificado como perteneciente a la clase 52.

Los resultados para el segundo caso analizado pueden verse en la figura 11. En este caso la clase con mayor probabilidad corresponde a la 47, existiendo aún mayor diferencia que en caso anterior con la segunda clase de mayor probabilidad.

En el tercer caso, presentado en la figura 12, la mayor probabilidad corresponde a la clase 52 seguida muy cerca por las clases 54, 60, 66, 62 y 70. Por tanto la respuesta que nos proporciona el sistema en este caso da una mayor probabilidad a la clase 52 aunque la diferencia en probabilidad con el resto de clases no es tan acentuada como en los ejemplos anteriores.

4 CONCLUSIONES

Se presenta en este trabajo un método de obtención de información referente a posicionamiento relativo de piezas. Ha sido realizado en base al tratamiento estadístico de la información aportada por un conjunto de sensores ultrasónicos creando una base de conocimiento probabilístico que es empleado por un sistema de clasificación basado en lógica fuzzy.

El sistema es capaz de detectar la orientación de objetos en un entorno tridimensional para el que ha sido previamente adiestrado, manejando la incertidumbre que aportan a las medidas este tipo de sensores. Este tipo de sistema de fusión de datos multi-sensoriales se presenta como alternativa a otros métodos y ha demostrado gran utilidad en este tipo de problemas obteniéndose resultados satisfactorios.

Los mejores resultados se han obtenido considerando el método Takagi-Sugeno y empleando el método de adición como procedimiento de agregación.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias al proyecto PROFIT FIT-020100-2003-323 "Integración Sensorial Inteligente para Navegación Automática de Robots Móviles Industriales".

Referencias

- [1] Caicedo, E., (1995) Object identification system using a parametric model, PhD Thesis. ETSII, Madrid.
- [2] Krautkrämer, J., (1990) Ultrasonic testing of materials, New York, Springer Verlag.
- [3] Lee, C.C. (1990) "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller I", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetic*, 20(2), pp.404-418.
- [4] Llata, J.R., Sarabia, E.G., Oria, J.P. (2001) "Fuzzy expert system with double knowledge base for ultrasonic classification", *Expert Systems with Applications*, no. 20, pp. 347-355.
- [5] Llata, J.R., Sarabia, E.G., Oria, J.P., (1997) "Shape recognition by ultrasonic sensor arrays in robotic applications" *Proceedings of the 3rd Asian Conference on Robotics and Its Application*, pp. 183-188.
- [6] Sarabia, E.G., Llata, J.R., Arce, J., Oria, J.P. (1998) "Shape recognition and Orientation Detection for Industrial Applications using Ultrasonic Sensors (by NNs)" in *Proceedings of the IEEE International Joint Symposia on Intelligence and Systems*, pp.301-308.
- [7] Sarabia, E.G., Llata, J.R., Arce, J., Oria, J.P., (1998) "Neural Networks applied to classification and fault detection using ultrasonics" *Proceedings of the fourth International Conference on Engineering Applications of Neural Networks*, pp.334-337.