

**7º CONGRESO
LATINOAMERICANO
DE CONTROL AUTOMATICO**



INTERNATIONAL FEDERATION
OF AUTOMATIC CONTROL

**XV SIMPOSIO NACIONAL DE
CONTROL AUTOMATICO**

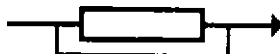
TRABAJOS PRESENTADOS

**Buenos Aires - Argentina
9 al 13 de Setiembre de 1996**

Volumen 2

Publicado por

AADECA



**ASOCIACION ARGENTINA
DE CONTROL AUTOMATICO**



ASOCIACION ARGENTINA DE CONTROL AUTOMATICO

CONSEJO DIRECTIVO AADECA 94-96

Presidente:	Ing. Jonas Paiuk
Vicepresidente 1º:	Ing. Aurelio T. Casucci
Vicepresidente 2º:	Ing. Zoltán L. Barkász
Secretario General:	Ing. Luis M. Buresti
Prosecretario:	Ing. Daniel O. Lupi
Tesorero:	Ing. Juan P. Weisz
Vocales Titulares:	Ing. Héctor A. Maceri
	Ing. Eduardo R. Rondelli
	Ing. Osvaldo H. Capino
Vocales Suplentes:	Ing. Sergio Szklanny
	Ing. Ricardo O. Carelli
Adscripta a Consejo Directivo:	Susana Terlizzi

Comisión Internacional de Programación

Presidente: Köppel, V.J. Argentina

Miembros:

Barkász, Z.	Argentina	Marchetti, J.	Argentina
Brignole, E.	Argentina	Miyagi, P.	Brasil
Candiani, C.	Argentina	Naranjo Pérez, F.	Colombia
Celso de Lima, W.	Brasil	Paiuk, J.	Argentina
Cipriano, A.	Chile	Pereira Caloba, A.	Brasil
Godfrid, C.	Argentina	Quijano, A.	Argentina
Gomide, F.	Brasil	Rabanillo, A.	Cuba
Ibarra Zanata, M.	México	Sánchez Peña, R.	Argentina
Kuchen, B.	Argentina	Uria de Castillo, M.	Venezuela
Lefranc, G.	Chile	Valla, M.I.	Argentina

Comisión de Cursos

Ing. Marinescu, Víctor F.

7º CONGRESO LATINOAMERICANO DE CONTROL AUTOMATICO - LACC • IFAC
9 al 13 de Setiembre de 1996 - Buenos Aires - Argentina

095	Towards an on board path planning for a non-holonomic autonomous mobile robot towing a trailer. <i>M. Viale, T. Tsubouchi, Shin'ichi Yuta (Japón)</i>	935
112	Propuesta de una metodología para resolver la cinemática de un robot. <i>O. D. Morán, J. L. Sánchez López, R. S. Apóstoli (Argentina)</i>	942
113	Estação robótica para automação de processos de soldagem: implementação e perspectivas. <i>V. H. Casanova Alcalde, M. H. Suguieda, S. C. Absi Alfaro (Brasil)</i>	947
122	Navegación autónoma de vehículos usando lógica difusa. <i>G. Rodriguez Mir, O. Calvo (Argentina)</i>	952
136	Desarrollo de un controlador para un brazo robótico industrial. <i>E. Dolling, O. Márquez, R. Fullana, E. Zavalla (Argentina)</i>	958
151	Un método de generación de trayectoria para vehículos autoguiados. <i>E. Solimei, E. Sigampa, V. Mut (Argentina)</i>	964
153	Control adaptable de seguimiento para robots basado en visión: un algoritmo discretizado. <i>O. Nasisi, R. Carelli, B. Kuchen (Argentina)</i>	970
177	Reconocimiento del entorno mediante ultrasonido. <i>C. López, M. Maggini, F. Masson, Pablo Mandolesi, O. Agamennoni (Argentina)</i>	976
178	Manejo de fallas de sensores en vehículos autónomos. <i>M. Zambón, R. Santos, F. Masson, O Agamennoni (Argentina)</i>	981
254	Estabilidad local para un control PWM de un motor para articulaciones robóticas. <i>G. Lefranc, L. Torres, A. I. Mahla (Chile)</i>	987
256	Sistema adaptivo de iluminación para visión computarizada aplicada a robótica. <i>M. Peña, R. Osorio (México), G. Lefranc (Chile)</i>	993
258	Modelo discreto de un sistema PWM con controlador PID. <i>A. I. Mahla, G. Lefranc, L. Torres (Chile)</i>	999

TELECONTROL

228	Sistemas de telecontrol: protocolos de transmisión de datos. <i>R. Pellizzoni (Argentina)</i>	1005
257	Solução do problema de fluxo de potencia ótimo com restrições de segurança em cluster de computadores. <i>O. R. Saavedra Mendez (Brasil)</i>	1012

TEORIA EN CONTROL

008	Síntesis de controladores utilizando el criterio de estabilidad de Lyapunov. <i>E. Granado, W. Colmenares, O. Pérez (Venezuela)</i>	1019
-----	--	------

7º CONGRESO LATINOAMERICANO DE CONTROL AUTOMATICO - LACC • IFAC
9 al 13 de Setiembre de 1996 - Buenos Aires - Argentina

- 174 Transformaciones no lineales de distribuciones de probabilidad. Aplicación al filtro de información. 1116
F. Masson, G. Bortolotto, A. Desages (Argentina)
- 176 Control adaptivo de sistemas inestables de fase mínima con modelo inverso. 1122
M. A. Jordán, O. A. Orqueda, A. C. Desages (Argentina)
- 182 Detección de bifurcación de doble período en sistemas de control no lineales. 1128
D. W. Bernsl, J. L. Moiola (Argentina)
- 183 Control paramétrico de bifurcaciones utilizando sistemas realimentados. 1134
J. L. Moiola (Argentina)
- 184 Control of uncertain piecewise linear systems. 1140
P. S. Mandolesi, P. M. Julian, A. C. Desages (Argentina)
- 185 Sistemas discretos lineales a tramos: control por estructura variable. 1146
P. Julián, H. G. Chiacchiarini, H. Sira Ramirez, A. C. Desages (Argentina)
- 186 Control por modos deslizantes de alto orden: diseño nominal. 1152
H. G. Chiacchiarini, A. C. Desages (Argentina)
- 149 Control por matriz dinámica: propuesta de modificaciones al algoritmo de control DMC. 1158
S. Matilde Piñón, M. Rodriguez (Cuba), B. Kuchen (Argentina)
- 235 Controlador de Dahlin de variância mínima auto-ajustável modificado. 1164
G.L.F. Vaz, A. R Coelho (Brasil)
- 116 Sistema global de posicionamiento: Convertidor de potencia para un transmisor de DGPS. 1170
S. A. González, H. E. Lorente, C. H. Muravchik, M. I. Valla (Argentina)
- 104 Linealización y desacoplamiento exactos entrada-salida del motor asincrónico mediante inversión causal. 1176
S. Junco (Argentina)
- 105 Linealización exacta entrada-salida vía inversión causal de diagramas de bloques. 1183
S. Junco (Argentina)

Reconocimiento del entorno mediante ultrasonido

C. Lopez *, M. Maggini *, F. Masson **; Pablo Mandolesi **
y O. Agamennoni ***

*Dto. Ing. Eléctrica Universidad Nacional Del Sur

**CONICET, Dto. Ing. Eléctrica, Universidad Nacional Del Sur

***C.I.C, Comisión de Investigaciones Científicas P.B.A. y Dto. Ing. Eléctrica, Universidad Nacional Del Sur

Abstract. En este trabajo se presentan resultados obtenidos en el reconocimiento de patrones mediante la utilización del sensado ultrasónico. Se profundiza en el estudio de la reverberación de la señal acústica con la finalidad de determinar su relación con la geometría del entorno. Para el análisis y clasificación de los patrones se utilizó como herramienta las redes neuronales. De los estudios realizados se determinó que el modelo de redes Perceptrón Multicapa son adecuados para llevar a cabo la clasificación. Como resultado de la investigación se demuestra que cuando se tienen en cuenta los sucesivos rebotes posteriores a la llegada del primer eco, los patrones provenientes de una superficie plana son completamente distintos de aquellos provocados por una esquina. Mediante el procesamiento de los patrones asíobtenidos se logró diferenciar entre una superficie plana e intersecciones de planos con diferentes ángulos.

Key Words. Sensado ultrasónico, Robot móvil, localización por eco

1. INTRODUCCIÓN

Los robots móviles, para transitar en forma autónoma en zonas cerradas, deben poseer un sistema que solucione entre otros, los problemas de localización y construcción de mapas del entorno. La elección de sensores de ultrasonido para atacar estos problemas, se basa en que constituyen una herramienta de bajo costo y de demostrada utilidad para implementar sistemas guiados en el desplazamiento de robots. Una técnica ampliamente utilizada en su aplicación, es el método del *tiempo de vuelo* (time-of-flight, TOF), en el cual la distancia entre el sensor y el objeto más cercano se calcula con el tiempo de viaje del eco ultrasónico. Sin embargo, a pesar de ser el más utilizado, este método presenta ciertos inconvenientes, a saber;

(i) los objetos presentes no son siempre detectados, debido a las características de los distintos tipos de superficies, que absorben o dispersan la señal ultrasónica.

(ii) las distancias obtenidas no siempre corresponden a objetos a esa distancia. Este hecho se debe principalmente a los rebotes múltiples que ocurren cuando el haz incidente se refleja en una o más superficies antes de retornar al transductor, podremos calcular la distancia con este valor de tiempo de vuelo sólo si conocemos la geometría del camino.

Para resolver parte de estos problemas en Agamennoni O. (1995), se plantea el estudio de la reverberación del eco como primera aproximación al problema, obteniéndose como se demostrará, resultados mas que alentadores.

La mayoría de los sistemas de medición de distancia por sonar emplean un sólo transductor acústico que actúa como transmisor y receptor (Polaroid Corporation 1993); este es el tipo de sensor disponible para el desarrollo del trabajo. Después que los pulsos son transmitidos y encuentran un objeto, un eco puede ser detectado por el mismo transductor actuando como receptor. La forma de onda de un eco típico observado a la salida del circuito detector es mostrado en la figura 1 (Kuc y Viard 1991). Se incluye un nivel de umbral, llamado τ , para evitar lecturas erróneas generadas por ruido acústico o electrónico .

Un sistema TOF entrega una medida de distancia calculada por el tiempo comprendido entre la transmisión de los pulsos y el primer rebote que excede el nivel de umbral. En la figura 1 puede apreciarse que esto ocurre para el tiempo t_0 , de manera que la distancia Z_0 es obtenida a través del tiempo de ida y vuelta del eco (ec. 1);

$$Z_0 = \frac{C \cdot t_0}{2} \quad (1)$$

dónde C es la velocidad del sonido en el aire, igual

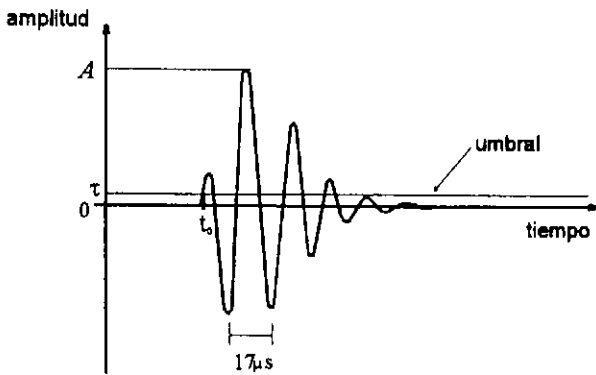


Fig. 1. Eco típico producido al excitar el transductor Polaroid con una secuencia de pulsos de alto voltaje de corta duración. La escala de tiempo comienza con la transmisión de los pulsos (Kuc y Viard)

a 343 m/s a temperatura ambiente.

En este trabajo no sólo se utilizará el tiempo de vuelo del primer eco, necesario para determinar la distancia al objeto, sino que se procesará el resto de la información dada por los distintos ecos sucesivos de manera tal de poder determinar la forma de la superficie de incidencia y así poder obtener el mapa de entorno que nos permita desarrollar una estrategia segura de navegación. El hecho de distinguir una superficie plana de una esquina constituye la principal motivación para el desarrollo de este trabajo, dado que los métodos tradicionales están incapacitados para hacerlo (Hallam, J., 1990).

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

Para la obtención de muestras se utilizó un módulo sensor Polaroid 6500 que actúa como transmisor y receptor. Como primer paso se estudió la electrónica del sensor y sus condiciones básicas de funcionamiento. De esta forma se determinó que ninguna de las señales disponibles era adecuada para lograr el tipo de información buscada, dado que el dispositivo está diseñado simplemente para la medición de distancia. Este hecho fue solucionado mediante el análisis del circuito interno del sensor, al encontrarse un punto de medición donde se evidenciaban las reflexiones.

Una vez obtenido el punto adecuado de medición, se conectó el sensor a una PC a través de una placa conversora analógica-digital de 12 bits. Con

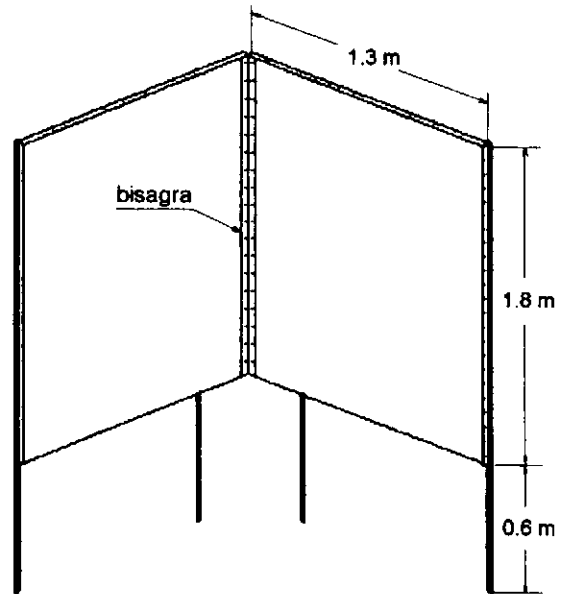


Fig. 2. Placas a 60 cm del suelo para formar los distintos ángulos

el propósito de obtener mayor cantidad de información, se programó la placa para trabajar en modo DMA, lo que nos permitió una frecuencia máxima de muestreo de 100 KHz. Esto, en la necesidad de obtener una señal muy detallada del eco. Para inicializar la placa conversora y el controlador de DMA se desarrolló el software necesario, que además se encarga de disparar el sensor y de guardar las muestras obtenidas para cada patrón en un archivo en disco.

Para la adquisición de las muestras se dispuso en el laboratorio de un espacio amplio libre de objetos para evitar rebotes indeseados. Se construyó con una placa de material aglomerado revestido en fórmica una superficie de 2.6 x 1.8 metros con una bisagra tipo piano en el medio que nos permitió formar los ángulos de medición necesarios. Las placas asfúndidas se elevaron del piso una distancia de 60 centímetros con el propósito de evitar los rebotes en el suelo y captar solo los producidos por las dos placas que forman el ángulo (Fig. 2)

Se debió prestar especial atención al cableado entre el sensor de ultrasonido y la placa conversora analógica/digital para eliminar el ruido en la medición. Se utilizó cable mallado y la conexión se realizó a través de un adaptador de impedancias hecho con un amplificador operacional en configuración de seguidor para eliminar la carga que producía el cable en la operación del módulo sensor. El diagrama en bloques del conexionado entre el sensor ultrasónico, la placa adquisidora y la PC, puede apreciarse en la figura 3.

Con esta disposición se obtuvieron los primeros patrones para ángulos de 45°, 90°, 135° y 180°.

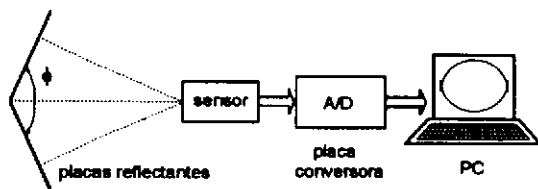


Fig. 3. Diagrama de conexión para la obtención de muestras

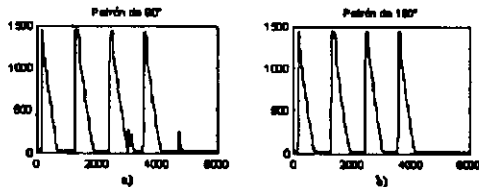


Fig. 4. Patrones obtenidos: a)- Para 90° de ángulo de palca y b)- Para 180° de ángulo de palca.

A simple vista se evidenciaba la notable similitud existente entre los patrones correspondientes a los ángulos de 90° y 180°, independientemente de la distancia sensor a la placa como muestra la figura 4. De todas formas se intentó entrenar los modelos de redes seleccionadas para clasificar los patrones obtenidos, pero en ningún caso se logró un adiestramiento satisfactorio.

Para solucionar este inconveniente se trató por algún método hacer diferenciables estos patrones. Se llegó a la conclusión de que adosando una pantalla en el mismo plano del sensor se incrementaba la reverberación para el patrón correspondiente al ángulo de 90°, efecto mostrado la figura 5.

Lograda la distinción de estos patrones se procedió a la toma de muestras. Se adquirieron 20 patrones

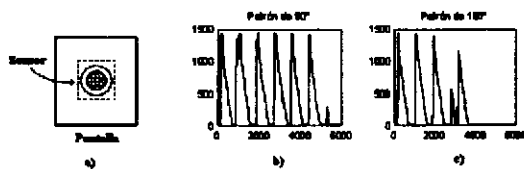


Fig. 5. a)- Disposición de la pantalla adosada al sensor. b)- y c)- Patrones obtenidos para 90° y 180° de ángulo de placa respectivamente.

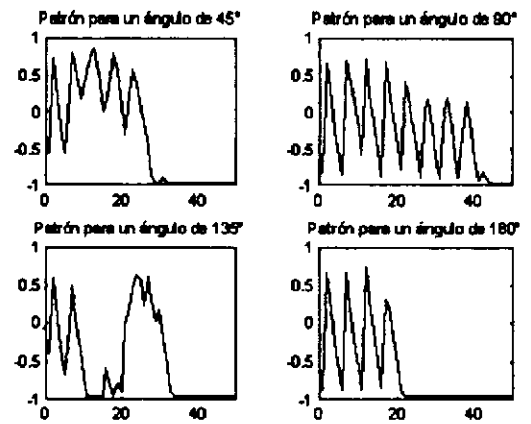


Fig. 6. Patrones adaptados para el entrenamiento de las redes. Se aprecia claramente que no han perdido información

de 6000 muestras cada uno para los ángulos de 45°, 90°, 135° y 180° respectivamente. Debido a que la cantidad de muestras de cada patrón era excesiva para utilizarla en el entrenamiento de las redes neuronales, dado que el número de entradas a la red es igual al número de muestras, se redujo la dimensión del patrón llegando a la conclusión de que promediando cada 120 muestras no perdía sus rasgos característicos. De esta forma, aplicando la fórmula de la ecuación 2, el número de entradas a la red se redujo a 50.

$$y_i = \left(\sum_{j=n \times i + 1}^{n \times (i+1)} x_j \right) / n \quad (2)$$

dónde $i=0,1,2,\dots,6000/n$ y n la cantidad de muestras a promediar, en este caso es 120. Los vectores de entrada a la red deben escalarse de acuerdo a la función de activación utilizada. Luego de aplicar estos procedimientos a las muestras obtenidas, los patrones de entrada a la red quedan como muestra la figura 6.

Luego se procedió al entrenamiento de las redes Perceptrón Multicapa utilizando el algoritmo de propagación hacia atrás mejorado con momento y rango de aprendizaje adaptivo. En primera instancia se conformaron redes individuales para cada distancia a la que se obtuvieron los patrones de entrenamiento, es decir redes distintas para 1, 1.5 y 2 metros. Para cada uno de estos casos se confeccionaron matrices de entrada para el entrenamiento con 10 y con 15 patrones por valor angular. Estas matrices de entrenamiento se aplicaron a distintos tipos de redes, en las que se fue variando no solo el número de capas y de

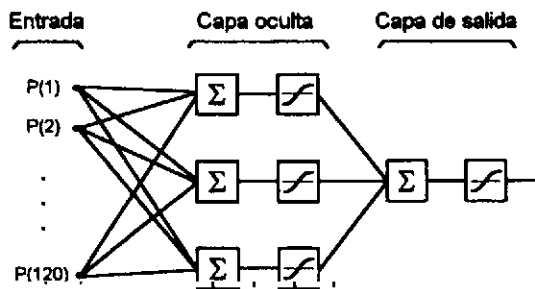


Fig. 7. Red con la que se logró la clasificación de patrones independientemente de la distancia.

neuronas, sino también las funciones transferencia utilizadas. Los mejores resultados en el entrenamiento se obtuvieron utilizando como función transferencia la tan-sigmoide en todas las capas de la red y con 10 patrones de cada ángulo.

Con el propósito de lograr una red única para la clasificación de todos los patrones, se recurrió a la utilización de un software desarrollado por Agamennoni, O. (1995), que trabaja con rango de aprendizaje adaptivo individual, mediante el cual se evalúa el comportamiento de cada componente del gradiente en forma individual. Si una dada componente del gradiente permanece dos iteraciones consecutivas con el mismo signo debe incrementarse sólo el rango de aprendizaje correspondiente a esa componente. Esta estrategia permite incrementar considerablemente la convergencia del algoritmo de minimización. De esta forma, se logró conformar una red única para llevar a cabo la clasificación de patrones sin importar la distancia a la cual estos son adquiridos. El mejor resultado en la generalización se consiguió con una red de dos capas con 3 y 1 neuronas cada una y empleando en ambas como función transferencia la tan-sigmoide (Fig. 7).

Para lograr una comparación con los resultados obtenidos con las redes Perceptrón Multicapa, se entrenaron las redes Función Base Radial con 15 y 10 patrones por valor angular e iguales requerimientos de error.

En primera instancia, al igual que en el caso anterior, se entrenaron redes separadas para cada distancia. En esta etapa de entrenamiento pudo observarse que este tipo de redes alcanzaba un error

muy cercano a cero en un número de iteraciones inferior al requerido por las redes Perceptrón Multicapa. Luego se procedió al entrenamiento de una única red para clasificar todos los patrones correspondientes a las distintas distancias sensor-placa.

Cuando se procedió al estudio de la generalización, tanto para esta única red como para las redes individuales, pudo apreciarse que su comportamiento no era satisfactorio. Por este motivo, a pesar de que requieren mayor número de iteraciones, optamos por las redes Perceptrón Multicapa para llevar a cabo la clasificación de patrones.

3. CONCLUSIONES

Los patrones del sensor no son óptimos debido a que la electrónica del sensor no está diseñada para tal fin. El circuito posee una serie de comparadores e integradores que eliminan parte de la información contenida en la señal recibida. Al tratarse de un módulo transmisor-receptor, no fue posible medir directamente los ecos ultrasónicos recibidos debido a los distintos niveles de tensión involucrados en su funcionamiento (la emisión del eco es de 400V y la recepción en el orden de 1V).

Sin embargo a pesar de no cumplir con todas las condiciones necesarias para el óptimo funcionamiento del sensor, tales como temperatura estable, intervalo adecuado entre muestras, etc.; es posible obtener los patrones apropiados para el entrenamiento de las redes neuronales, y llegar así a lograr la discriminación entre una superficie plana y distintos valores de ángulos.

Una forma de lograr mayor información de los patrones de reverberación sería realizar la transmisión y recepción en forma separada. Experimentalmente se demostró, que bajo ciertas condiciones, el patrón de reverberación de una superficie plana con incidencia normal presenta notables diferencias con respecto al patrón correspondiente a un ángulo de 90°. Esta discriminación es imposible de realizar con la técnica del TOF, asumiendo que el robot se encuentra en una posición fija. Por lo tanto la técnica de reverberación soluciona uno de los principales inconvenientes encontrados en la de tiempo de vuelo, diferenciar superficies planas de esquineros. Sin embargo debe quedar claro que ambas técnicas deben usarse juntas.

Asimismo puede apreciarse que la pantalla adosada al sensor usada para reforzar la reverberación no introduce limitaciones a esta técnica, ya que en implementaciones prácticas, cualquier superficie plana del robot móvil puede usarse como pantalla de reverberación.

Se demostró la utilidad de las redes neuronales como herramienta eficaz para la clasificación de patrones, siempre y cuando se tengan en cuenta las dimensiones adecuadas para lograr una buena generalización. No existen reglas para determinar la topología de la red que mejor se ajuste al número de entradas y salidas. Las dimensiones de la red dependen del número de muestras de entrenamiento y de la complejidad de la clasificación que se intenta obtener.

En la etapa de la clasificación propiamente dicha, mediante el empleo de los modelos de redes más adecuados a nuestro problema, se comprobaron las diferencias existentes entre cada uno de ellos. Así pudo establecerse que las redes Perceptrón Multicapa poseen una gran capacidad de generalización, y este hecho las hace ideales para lograr la clasificación de patrones que debido a su naturaleza suelen ser apreciablemente diferentes. Esto se debe a que las redes Perceptrón Multicapa conforman aproximaciones globales a mapeos entrada-salida no lineales; consecuentemente son capaces de lograr generalización en regiones del espacio de entrada donde hay poca o ninguna disponibilidad de datos de entrenamiento. Las redes Función Base radial en cambio, presentaron mayor rapidez en el aprendizaje, alcanzando valores de error muy cercanos a cero, pero en el momento de realizar la clasificación demostraron muy mala generalización. La razón de esto es que este tipo de redes usan no linealidades localizadas que decaen en forma exponencial (Funciones Gaussianas), constituyendo aproximaciones locales a mapeos entrada-salida no lineales. Esta característica hace que las redes Función Base Radial sean muy utilizadas en la aproximación de funciones y no tengan igual preferencia en la clasificación de patrones.

Queda para desarrollos futuros, una vez solucionados los problemas propios de la electrónica del sensor, el estudio de las características físicas de la señal de eco, mediante la obtención de modelos y el análisis de la ecuación de onda. Además, como se mencionó anteriormente, cabe la posibilidad de reproducir o mejorar los resultados hasta aquí obtenidos, a través de la separación de transmisión y recepción en el sensado, y la utilización de un arreglo de más de un sensor en la adquisición de muestras.

4. BIBLIOGRAFIA

Agamenoni, O.; L. Castro; S. Castro; J.E. Cousseau y E. Paolini, (1995). *Pattern Recognition in Ultrasonic Sensing*. Anales VI RPIC, 2, 307-311.

Hallam, J.C.T. y P.J. McKerrow, (1990). *An Introduction to the Physics of Echolocation*. The Australian Robot Association. Proceedings of the 1990 Third National Conference of Robotics, 1, 198-209.

Haykin, S. (1994). *Neural Networks*. Nueva York, McMillan.

Horne, B.G. y R. Hush, (1993). *Progress in Supervised Neural Network*. IEEE Signal Processing Magazine, 1, 8-39.

Kuc, R. y V.B. Viard, (1991). *A Physically Based Navigation Strategy for Sonar-Guided Vehicles*. M.I.T. The International Journal of Robotics Research, 10, 75-87.

Nebot, E.M. y G.G. Schenkel, (1994). *Map Building using Quadrees for Autonomous Mobile Vehicles Operating in Dynamic Environments*. Department of Mechanical and Mechatronic Engineering. University of Sydney, Australia.

Polaroid Corporation (1993). *Ultrasonic Ranging System. Description, operation and use information for conducting tests and experiments with Polaroid's Ultrasonic Ranging System Components*.