

# SONAR PARA APLICACIONES TERRESTRES

Jordi Gili, Jordi Pera, Lluís Closas

Departament d'Enginyeria Electrònica de la ETSETB (UPC)  
jordi\_gili@es.ibm.com, jgil1210@alu-etsetb.upc.es, jper1201@alu-etsetb.upc.es

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo pretende ser una introducción al SONAR con aplicaciones no convencionales, ya que el SONAR se utiliza básicamente en entornos marinos. El motivo que impulsa a la redacción de este artículo es la divulgación de la experiencia realizada por los autores [1].

Convencionalmente se asocia la utilización del sonido como agente de detección en medios acuáticos, debido a su eficiente propagación en estos. Su utilización en medios aéreos (atmósfera) comporta una pérdida importante de esta capacidad de propagación, lo cual ha relegado a este agente a un segundo plano, frente a otros que presentan una propagación más eficiente como las ondas electromagnéticas.

Con estas perspectivas, uno de los pocos huecos que existen para el sonido en la atmósfera es su aplicación al campo de la detección y posicionamiento a corta distancia. Este campo queda vagamente cubierto por las ondas electromagnéticas debido a su gran velocidad de propagación ( $3 \cdot 10^8$  m/s), la cual impone una imposible capacidad de cálculo con métodos de conteo de tiempo. El sonido, sin embargo, con una velocidad de propagación mucho menor (344 m/s), permite una clara aplicación de estos métodos.

Existen comercialmente dispositivos, TL851[2], que permiten la detección y el cálculo de distancia de objetos situados en el margen de 15.24cm a 10.6 m.

El objetivo del proyecto ha sido desarrollar un sistema capaz de posicionar un objeto, no solamente en distancia, sino también en dirección con respecto a un origen fijado. Para el desarrollo de este sistema se han aplicado conceptos y técnicas ampliamente utilizadas en el campo de las ondas electromagnéticas (agrupaciones de antenas, diagramas de radiación, conformación de haz, etc.).

## TEORÍA BÁSICA

Fundamentalmente existen dos puntos a tratar para realizar la detección y el posicionamiento de un objeto: el cálculo de la distancia y el cálculo del ángulo donde se encuentra.

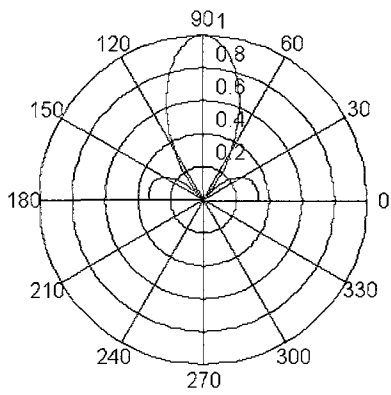
El procedimiento que se utiliza para el cálculo de la distancia se basa en la emisión de un pulso, activando simultáneamente un contador de tiempo. El pulso es reflejado en el objeto y detectado en el receptor. En ese instante se detiene el contador y mediante la simple fórmula  $d=v \cdot t/2$  ( $d$ : distancia,  $v$ : velocidad de propagación,  $t$ : tiempo medido por el contador) se determina la distancia al objeto.

El procedimiento utilizado para el posicionamiento del objeto (ángulo respecto a la vertical) es más complejo y se basa en la utilización de una agrupación de cápsulas ultrasónicas, realizando sobre ellas una conformación electrónica de haz, de forma que se consigue 'apuntar' el haz principal de la agrupación en todas las direcciones del plano formado por los elementos de ésta.

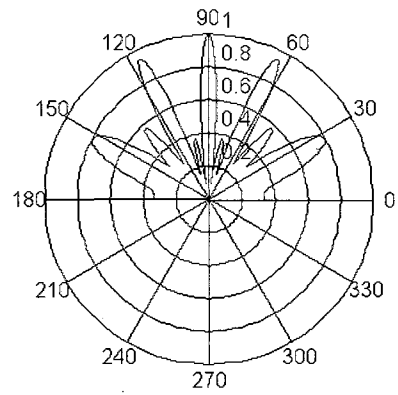
Una agrupación consiste en diferentes elementos situados a distancias conocidas entre ellos. El hecho que radien sonido provoca fenómenos de interferencia constructiva o destructiva en todo el espacio donde existe radiación de forma que algunos puntos del espacio reciben más potencia que otros. Si se mide la potencia recibida en cada uno de los puntos de una circunferencia trazada en el plano que forman los elementos de la agrupación, centrada ésta y con un radio lo suficientemente alejado de ella (campo lejano) se puede medir el diagrama de radiación, obteniendo máximos en las zonas de interferencia constructiva y ceros en las zonas de interferencia destructiva. Para posicionar precisamente un objeto es necesario que el diagrama de radiación de la agrupación tenga un lóbulo principal con una anchura de haz relativamente pequeña.

Para poder detectar objetos en las distintas direcciones la técnica utilizada consiste en modificar a voluntad el diagrama de radiación de la agrupación de forma que el lóbulo utilizado para la detección 'apunte' hacia las diversas direcciones, técnica que se conoce como Conformación de Haz o 'Beamforming'[3]. La conformación del haz se realiza desfasando convenientemente la alimentación de los elementos radiantes consiguiendo así modificar las zonas de interferencia constructiva y destructiva en el espacio con lo que se obtiene un efecto de 'apuntamiento' del haz. Este punto constituye una clave del sistema, ya que la implementación del desfase de las alimentaciones no es sencilla.

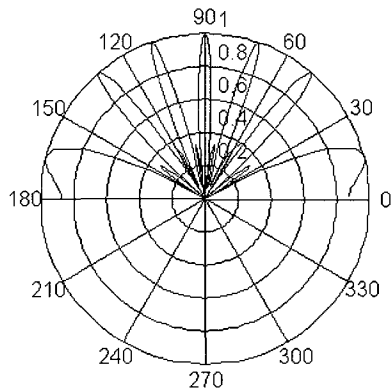




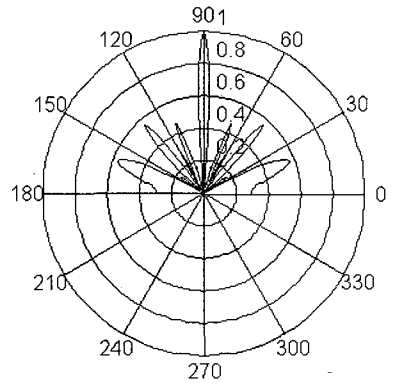
**Figura 1.** Diagrama de radiación de la agrupación en



**Figura 2.** Diagrama de radiación de la agrupación emiso-



**Figura 3.** Diagrama de radiación de la agrupación recepto-



**Figura 4.** Diagrama de radiación resultante.

## AGRUPACIÓN DE CÁPSULAS ULTRASÓNICAS

A diferencia de los sistemas que utilizan ondas electromagnéticas, las antenas utilizadas para la emisión de ultrasonidos son distintas a las utilizadas para su recepción, lo cual obliga a la construcción de dos agrupaciones de cápsulas.

En la obtención de un diagrama como el descrito en el apartado anterior se ha utilizado una agrupación lineal de tres elementos en ambos casos. La razón de la elección de este número de elementos es la siguiente: existe un compromiso entre la calidad de conformación del haz y la complejidad de control del sistema; con dos elementos la conformación de haz que se puede realizar es muy pobre, mientras que un número superior de elementos introduce un factor de complejidad al sistema que no compensa el escaso beneficio que aporta.

La agrupación que mejor se ajusta a nuestras necesidades es una agrupación lineal con los elementos equiespaciados una distancia de 0.5, obteniendo así el diagrama de radiación de la figura 1 (en el caso de que los elementos de la agrupación sean isotrópicos). Dada la frecuencia de trabajo de las cápsulas electrónicas

comerciales utilizadas ( $f=40$  kHz), una distancia de 0.5 supone una separación entre cápsulas de 43 mm. El diámetro de estas cápsulas es aproximadamente de 1 cm, con lo que la realización física de la agrupación propuesta resulta inviable. Este hecho obliga a distanciar más los elementos lo que provoca la aparición de lóbulos de difracción en el diagrama de radiación, efecto indeseado ya que produce problemas en la decisión de la posición del objeto.

Para conseguir un diagrama de radiación parecido al propuesto, se ha optado por aprovechar el hecho de tener dos agrupaciones distintas para emisión y recepción y combinar ambos diagramas de radiación. La meta perseguida es la cancelación de los lóbulos de difracción de cada diagrama con los mínimos del otro diagrama, exceptuando el caso del lóbulo principal, que no debe resultar afectado.

Las agrupaciones elegidas presentan los siguientes espaciados: 2 y 2.5 para emisión y 3.1 equiespaciada para recepción. Las figuras 2 y 3 muestran los diagramas obtenidos para las agrupaciones emisora y receptora respectivamente (suponiendo elementos isotrópicos). En ellas se puede observar claramente la presencia de los lóbulos de difracción. La figura 4 muestra como con la

combinación de ambos diagramas se consigue disminuir considerablemente la presencia de estos lóbulos. Queremos destacar que no nos hemos planteado en nuestro estudio la búsqueda de la combinación óptima.

## SISTEMA DE CONTROL

El sistema encargado de gestionar las distintas agrupaciones tiene que ser capaz de realizar una serie de funciones que permitan la consecución de las prestaciones esperadas.

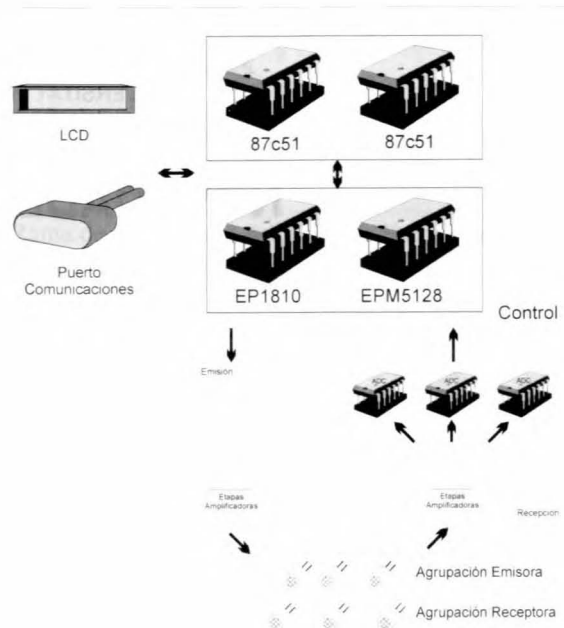
Para el sistema de alimentación hay que resolver dos cuestiones fundamentales: la generación de las señales de alimentación de las cápsulas y el desfase de éstas para conseguir la conformación del haz. Las cápsulas tienen un ancho de banda muy estrecho (aproximadamente 1 kHz)[4], lo cual obliga a que la señal de alimentación tenga una frecuencia prácticamente coincidente con su frecuencia nominal ( $f_{nom}=40$  kHz), cosa que es relativamente sencilla de conseguir con una generación digital de la señal. Las tres señales de alimentación, además, deben de ser desfasadas de forma muy precisa para obtener la conformación de haz deseada.

Para el sistema de recepción, el problema a resolver es básicamente la alineación de las tres señales recibidas por la agrupación para conseguir la conformación del haz deseada.

La complejidad de introducir un desfase variable de forma analógica hace que esta opción sea de difícil realización. Por tanto, la posibilidad de desfasar las señales de forma digital aparece como la más factible. Para el caso de las señales de emisión, el desfase se consigue retardando el instante de inicio de generación de cada una de ellas.

Para el caso de recepción, puesto que las señales son analógicas y se realiza una conversión A/D, se aprovecha el muestreo para introducir el desfase retardando el instante de inicio del mismo, de forma similar a lo realizado en emisión. Como resultado se obtienen las señales digitales desfasadas a voluntad, resultando muy sencillo combinarlas para conseguir el diagrama de radiación deseado.

Un esquema general del prototipo que se ha diseñado se puede observar en la figura 5. En él se pueden distinguir dos partes bien diferenciadas, la generación de las señales de alimentación, y la recepción de las muestras de las señales detectadas y su posterior proceso para la determinación del blanco. En efecto para la generación de las señales se ha empleado uno de los microprocesadores 87C51 [5] y la PLD EPM5128 [6]. Para la parte de recepción de muestras se he empleado una PLD EP1810 [6] y otro microprocesador 87C51 [5].



**Figura 5.** Esquema del prototipo SONAR desarrollado.

El prototipo dispone además de un puerto de comunicaciones que permite su interconexión con otros sistemas.

## CONCLUSIONES

El prototipo diseñado muestra una clara aplicación comercial en el campo de Sistemas de Seguridad y Vigilancia, dado que el sistema es capaz de discriminar la ubicación de un objeto dentro de una sala puede decidir si éste se encuentra en una zona permitida o prohibida, en función de la distancia y posición calculados. Mediante el puerto de comunicaciones el prototipo puede desencadenar la respuesta de otros sistemas (alarma, circuito cerrado de televisión, etc.).

Existe una gran variedad de campos en los que puede tener aplicación este sistema: desde la domótica hasta la juguetería o ayuda a invidentes.

## REFERENCIAS

- [1] SONAR para detección y seguimiento de blancos móviles. JORDI GILI, JORDI PERA. PFC, ETSETB, 1998.
- [2] Linear Applications. Texas Instruments. 1996.
- [3] LAGUNAS M.A., «Procesamiento de Arrays», Apuntes de la asignatura ARRAYS ADAPTATIVOS, impartida en la ETSETB. 1997
- [4] Cápsulas ultrasónicas:  
Frecuencia: 40kHz  
Sensibilidad: -68dB/V/bar  
Tensión máxima a la entrada: 20 VRms.
- [5] Kit de desarrollo para microprocesador 87C51. LLUÍS CLOSAS. EUPBL.
- [6] Sistema de desarrollo con PLD de Altera, MaxPlu.

Para más información, contactar con los autores.