

OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 380 464**

② Número de solicitud: 201001387

⑤ Int. Cl.:
G01S 5/20 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **25.10.2010**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **11.05.2012**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
11.05.2012

⑦ Solicitante/s: **Universidad de Valladolid
Pza. de Santa Cruz, 8 - bajo
47002 Valladolid, ES**

⑦ Inventor/es: **Jiménez Gómez, María Isabel;
Izquierdo Fuente, Alberto;
Val Puente, Laura del y
Raboso Mateos, Mariano**

⑦ Agente/Representante:
No consta

⑤ Título: **Sistema acústico para detección y localización basado en un array virtual de geometría reconfigurable mediante 4 subarrays monosensor.**

⑤ Resumen:

Sistema acústico para detección y localización basado en un array virtual de geometría reconfigurable mediante 4 subarrays monosensor.

El sistema i) implementa arrays virtuales de un elevado número de sensores, mediante un array físico de 4 sensores y ii) estima la posición espacial de objetos mediante procedimientos acústicos. El sistema está formado por 4 discos circulares giratorios (3) con un micrófono en cada una de ellos (4), un altavoz (2), 4 motores paso a paso que accionan los discos (5), una plataforma base (1) que aloja a los discos, al altavoz y los motores paso a paso, un adaptador (drivers) para los motores paso a paso (9), 4 equipos pre-amplificadores (7) para los micrófonos, un equipo amplificador (6) para el altavoz, un sistema de adquisición y preprocesado (8) compuesta por: microcontrolador, FPGA, 1 módulo de entrada analógica de 4 canales, 1 módulo de salida analógica de 1 canal y un módulo de control de motores paso-paso de 4 canales, un equipo informático (10) y software con algoritmos de procesado necesarios para el funcionamiento del sistema (11).

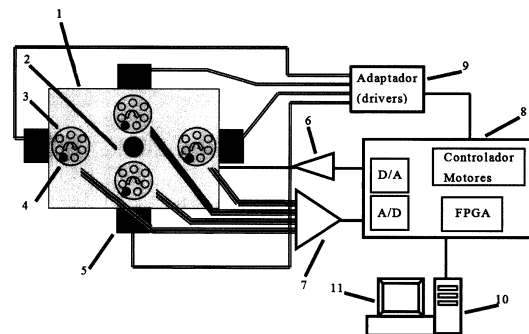


Figura 1

DESCRIPCIÓN

Sistema acústico para detección y localización basado en un array virtual de geometría reconfigurable mediante 4 subarrays monosensor.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se enmarca principalmente en el campo de los arrays virtuales acústicos, aunque también se engloba tanto en el campo de la acústica como en el de la vigilancia automática de recintos cerrados mediante arrays de sensores.

10 **Estado de la técnica**

15 El término RADAR deriva del acrónimo inglés RAdio Detection and Ranging (detección y medición de distancias por radio). Es un sistema que utiliza ondas electromagnéticas para medir distancias, altitudes, direcciones de objetos estáticos o móviles y también las velocidades de estos últimos. De esta forma, incluso permiten clasificar e identificar objetos (*M. Skolnik "Introduction to Radar Systems". Mc Graw-Hill, Singapore, 2001*).

20 Su principio de funcionamiento se basa en la radiación de pulsos electromagnéticos al espacio, y posteriormente en la detección del eco de la señal reflejada por el objeto. Un radar acústico utiliza los mismos principios de funcionamiento, pero trabajando con ondas acústicas que se propagan por el aire, y se suele denominar como SODAR (SOUND Detection And Ranging).

25 Estos sistemas de detección y localización de objetos requieren emplear antenas selectivas que trabajen con haces muy estrechos y elevada ganancia (*Antenna Standards committee of the IEEE Antennas and Propagation Society, "IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas", IEEE Std. 145-1993*).

30 De hecho, las antenas concentran la energía, recibida y/o transmitida por el sistema, en haces que, al dirigirse hacia un objeto determinado, producen una señal suficientemente potente para realizar la detección, además de eliminar las contribuciones del resto de objetos, interferencias y ruido no deseados (*D. Barton, C. Cook, and P. Hamilton, "Radar Evaluation Handbook". Artech House, Boston, 1991*).

35 Un array de antenas es un conjunto de antenas sencillas, que en función de la geometría que adopten y de las excitaciones empleadas para cada uno de sus elementos, permite sintetizar diagramas de radiación específicos.

La conformación de haz es una herramienta de procesamiento de señal en array que permite dirigir el haz de radiación/emisión del array de forma electrónica. Esta estrategia consiste en ajustar la amplitud y fase de las señales en cada elemento, así como la posición del mismo, para obtener el diagrama de radiación deseado (*W. Wirth, "Radar techniques using array antennas". IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 10, London, UK, 2001*).

40 El conformador permite adaptar el diagrama, incluso de forma dinámica, a las condiciones del escenario concreto en el que se esté trabajando. De hecho, la capacidad para determinar y fijar la posición del lóbulo principal y los nulos del diagrama de radiación, así como poder contar con varios haces generados, son características fundamentales que permiten seguir varios objetos de forma simultánea (*S. Kingsley and S. Quegan, "Understanding Radar Systems". Mc Graw-Hill, UK, 1992*).

Existen múltiples tipos de geometría de array: lineales, planares, esféricos, aleatorios, etc. (*N. Fourikis, "Advanced Array Systems, Applications and RF Technologies", Academic Press, 2000*).

50 En todas las geometrías, como regla general, cuánto mayor es el número de sensores, siempre y cuando el espaciado entre sensores cumpla un conjunto específico de restricciones, mejor son las prestaciones del array: resolución angular, nivel de lóbulos secundarios, capacidad de cancelación de interferencias, etc. (*A. Gershman, and J. Böhme, "A note on most favorable array geometries for DOA estimation and array interpolation" IEEE Signal Processing Letters, vol. 4, no. 8, pp. 232-235, Agosto 1997*).

55 Un array puede estar constituido internamente por varios subarrays o clusters. El empleo de la agrupación de los sensores en subarrays facilita su procesamiento y disminuye el número de canales de procesamiento necesario, etc. Además, también se consigue mejorar las prestaciones del array tales como aumentar su resolución, aumentando la apertura espacial del mismo, y eliminar la aparición de grating lobes, que son lóbulos de amplitud similar al principal, pero en direcciones diferentes a la de interés (*M. Zhang, S. Wu and L. Li, "Improving resolution for array processing by new array geometry and spatial filter", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 42, No. 3, pp. 680-683, Mar. 1994*).

65 El concepto de array virtual, denominado como VAA (Virtual Antenna Array) hace referencia a emular arrays de un elevado número de sensores mediante un array físico con un número de sensores reducido (*F. Strömberg, "Virtual Antenna Arrays Results and ongoing studies", PhD, Royal Institute of Technology. Kista, Suecia, 2004*).

Los arrays virtuales permiten reducir los costes del equipamiento, como consecuencia de utilizar un número de sensores reducido y por tanto un número de canales de procesado también reducido. Como contrapartida, requieren un aumento en el tiempo de procesado y trabajar con objetos que puedan considerarse estacionarios dentro del tiempo de procesado.

5

Explicación de la invención

Esta invención consiste en un sistema que permite (i) implementar de forma eficiente y con coste reducido un array con un elevado número de sensores, (ii) detectar objetos mediante procedimientos acústicos, (iii) estimar su posición espacial en tres dimensiones y (iv) ser flexible y reconfigurable para adaptarse al escenario de trabajo.

El array que presenta esta invención consiste en un array planar o bidimensional que sólo tiene implementados a nivel físico 4 micrófonos y por ende 4 canales de procesado, pero que permite reconfigurar, de forma independiente, la posición de cada micrófono, emulando un array virtual con un número elevado de sensores.

La plataforma del array (1) está constituida por un altavoz central (2) que funciona como transmisor, y por un receptor, compuesto de 4 micrófonos, ubicado cada uno de ellos en una disco circular (3), controlada mediante un motor paso a paso (5), que permite posicionar angularmente cada micrófono (4). Los cuatro discos circulares están situadas sobre un mismo plano, centradas sobre los vértices de una estructura rómbica, en cuyo centro geométrico está el altavoz.

En cuanto al funcionamiento, en primer lugar se configura el sistema en función del número de micrófonos virtuales a implementar, calculándose las posiciones angulares para cada disco circular. En base a estas posiciones, se definen cuaternas formadas por las posiciones de cada una de los discos giratorios, de forma que todas las cuaternas tengan posiciones espaciales diferentes.

Se realizan tantos experimentos como cuaternas definidas, y para cada experimento se deberá almacenar la información de las señales recibidas en los cuatro canales de recepción.

30

Para cada experimento, se transmite a través de un altavoz (2), un burst de pulsos generado digitalmente en una tarjeta de procesado de señal que se convierte al dominio analógico mediante un conversor D/A en el sistema de adquisición y preprocesado (8), y es amplificado (6).

El eco producido por el reflejo de la señal transmitida en los objetos presentes en el espacio de vigilancia se recibe en la plataforma del array de recepción (1). La señal recibida por cada sensor es amplificada (7) y convertida al dominio digital mediante el conversor A/D multicanal del sistema de adquisición y preprocesado (8). Las señales se almacenan en el equipo informático (10).

Una vez realizados todos los experimentos, se inicia en el equipo informático el procesado espacio-temporal que permite la localización del objeto.

Todos los algoritmos necesarios para el funcionamiento del sistema constituyen el software del sistema (11).

Esta invención implementa y desarrolla un sistema de radar acústico, capaz de localizar objetos, mediante un array con un número elevado de sensores, mediante un sistema constituido por 4 micrófonos y sus correspondientes canales de procesado.

Además, las posiciones de los micrófonos son reconfigurables, de modo que se permite definir geometrías complejas, que requieran espaciados no uniformes o espaciados prefijados. De este modo, este sistema de array permite implementar geometrías que se adapten al escenario en tiempo real, variando la posición de los sensores, en base a la posición de los objetos y de las posibles señales interferentes en el escenario.

En suma, el sistema descrito en esta invención emula sistemas con un número elevado de sensores, todo ello con un coste muy reducido, al tiempo que permite que la geometría sea reconfigurable y flexible.

55

Descripción detallada de la invención

La presente invención permite localizar objetos ubicados dentro de un recinto cerrado estimando la distancia a la que se encuentran los mismos y los ángulos de azimuth y elevación con respecto al origen de coordenadas situado en el centro geométrico de la plataforma.

La distancia se halla calculando el retardo entre la señal transmitida y la señal recibida, y los ángulos de llegada, mediante técnicas de procesado espacial, conformando un haz electrónico que barre angularmente el espacio de vigilancia.

65

ES 2 380 464 A1

La relevancia de la patente versa en la propia geometría del array del sistema, así como en la metodología de reconfiguración ofrecida.

5 Por ello, la parte fundamental de la invención es la plataforma que constituye el array virtual en recepción (Fig. 2), a partir de discos circulares giratorios (Fig. 3), junto con la metodología de reconfiguración de dicha plataforma.

En transmisión se utiliza un único transductor, situado en el centro de la plataforma (Fig. 2), constituido por un altavoz con diagrama de radiación omnidireccional.

10 Se utilizan 4 subarrays bidimensionales circulares, puesto que consisten en un único sensor cuya posición se va desplazando (*R. Hansen, "Phased Array Antenas", Wiley, NY, 1998*).

15 Cada uno de los subarrays permite implementar arrays circulares. El array circular se construye con elementos equiespaciados sobre una circunferencia. También se denomina array en anillo. Debido a ello, cada disco circular permite posicionar el sensor dentro una circunferencia de radio prefijado, en posiciones angulares equiespaciadas a lo largo de la circunferencia.

20 Los subarrays son bidimensionales porque los sensores se ubican sobre un mismo plano o superficie, lo que proporciona haces orientados en cualquier dirección y la estimación conjunta en azimuth y elevación de la posición del objeto (*N. Fourikis, "Advanced Array Systems, Applications and RF Technologies", Academic Press, 2000*).

25 Por tanto, la distribución de los sensores del array global se ha dividido en dichos 4 subarrays o también denominados clusters. Este tipo de geometría ofrece muy buenas prestaciones del array, debido a la resolución en azimuth conseguida mediante el aumento de la apertura espacial del mismo, así como el control de los grating lobes.

El array virtual que puede construirse con cada disco, a partir de un único sensor, es tipo circular y se considera como un subarray del array global. Por tanto, el carácter virtual de los subarrays se extiende al array de la misma forma.

30 La elección de que los centros de las 4 discos circulares estén ubicados en los vértices de un rombo, se hace para poder obtener resoluciones angulares diferentes en elevación y azimuth. La resolución es proporcional a la dimensión de cada diagonal del rombo, es decir, es mejor para la diagonal mayor. Por tanto, esto permite mejorar la resolución angular en azimuth, que resulta un parámetro más crítico, puesto que los objetos suelen tener una mayor extensión en elevación y por tanto la resolución requerida es inferior.

35 La figura rómbica, de ejes L (eje mayor) y l (eje menor), tendrá ambos ejes paralelos con respecto a los ejes de coordenadas cartesianas abscisas (horizontal) y ordenadas (vertical), respectivamente. Por tanto, el eje mayor estará asociado al ángulo en azimuth, y el eje menor vertical, al ángulo de elevación.

40 Se emplea un rombo como caso particular, pero la estructura y metodología de la invención es aplicable a otros casos que requieran diferentes condiciones de resolución o ubicación de los discos de los subarrays.

La elección de la geometría de array a emplear se basa en los requisitos del sistema global en que se aplique, para escoger el array cuyas características se adecuen mejor.

45 La patente ofrece una estructura de array que propone un sistema flexible, versátil y adaptable para diferentes geometrías que se requieran aplicar. De hecho, el esquema que se desea patentar es emplear un conjunto de subarrays monosensor, si bien, se detalla para un caso de 4 subarrays.

50 Las reglas del posicionamiento de los sensores del array global son las siguientes:

- Todos los sensores están distribuidos en un mismo plano.
- Los sensores se agrupan en 4 conjuntos, cada uno de los cuales constituye una región confinada en una circunferencia de radio R.
- El radio está prefijado y todos los conjuntos utilizan el mismo.
- En cada circunferencia los sensores pueden situarse angularmente en posiciones equiespaciadas, que dependerán de la resolución angular del sistema electro-mecánico de posicionamiento.
- Se definen M posiciones equiespaciadas para cada circunferencia.
- Los centros de las circunferencias, de cada conjunto, están posicionados en los vértices de un rombo.
- El altavoz se encuentra localizado en el centro del rombo.

ES 2 380 464 A1

Además, esta metodología facilita el procesado debido a que permite procesar en paralelo todas las señales recibidas. De igual modo, permite un importante ahorro de recursos, principalmente con respecto a la alimentación de los sensores, transductores, etc. (N. Fourikis, "Advanced Array Systems, Applications and RF Technologies", Academic Press, 2000).

5 El número máximo de sensores emulado en el array global será equivalente a 4 veces el número de posiciones equiespaciadas en cada disco circular, es decir, $4 \cdot M$. Por tanto, el número de experimentos que tendrán que realizarse será M , debido a que en cada experimento se configuran y realizan 4 posiciones de los sensores, una en cada subarray circular. Una vez realizado M experimentos, se tendrán almacenadas $4 \cdot M$ señales, equivalentes a la implementación
10 física de un array de $4 \cdot M$ elementos.

El diagrama de radiación del array en recepción se obtiene a partir de la conformación electrónica de las señales recibidas en los $4 \cdot M$ sensores.

15 El conformador permite la orientación electrónica del haz, barriendo angularmente el espacio de vigilancia, a partir de los datos almacenados tras los M experimentos.

La señal transmitida es un pulso modulado o una secuencia de pulsos modulados, cuya frecuencia está comprendida dentro de la banda de audio. La generación de la señal se realiza vía hardware mediante un controlador con microprocesador asociado a una tarjeta de conversión D/A, un amplificador de potencia y finalmente un altavoz omnidireccional (Fig. 1).
20

La señal emitida se propaga en todas las direcciones, reflejándose en los objetos, de acuerdo a su sección radar acústica y al ángulo de incidencia.
25

Las señales recibidas en los cuatro sensores (para cada cuaterna de posiciones en los M experimentos) son preamplificadas, digitalizadas en una tarjeta de conversión A/D y filtradas digitalmente a través de una FPGA que residen en el sistema de adquisición y preprocesado (8). Finalmente las señales son almacenadas en primera instancia en el controlador y a continuación transferidas al equipo informático. De este modo al cabo de los M experimentos, tenemos
30 en el equipo las $4 \cdot M$ señales preamplificadas y filtradas correspondientes al array virtual de $4 \cdot M$ sensores.

Se emplea un motor paso a paso para desplazar el posicionamiento del micrófono en cada subarray, de tal modo que se tiene 4 motores paso a paso, con sus controladores correspondientes.

35 Al contar con un motor paso a paso para cada subarray circular, se garantizan los 4 grados de libertad e independencia de dichos subarrays, siendo de este modo, el giro (angular) de cada subarray independiente del resto. De hecho, cada uno de los 4 subarrays se ubica en un plato plano giratorio accionado por un motor.

40 El sistema de adquisición y preprocesado que se ha utilizado es un sistema avanzado y embebido de control y adquisición de datos diseñado para aplicaciones que requieren alto rendimiento, así como elevado nivel de fiabilidad.

Dicho sistema presenta una arquitectura abierta y embebida, de pequeño tamaño, extrema robustez y flexibilidad que permite ágil implementación de sistemas embebidos personalizados.

45 El sistema está basado en un microcontrolador y se integra en una arquitectura hardware compacta basada en FPGA, que consta de una serie de slots disponibles para las entradas y salidas.

50 Los módulos de entrada y salida son integrados, intercambiables y con acondicionamiento de señales, para poder realizar una conexión directa con variados sensores y actuadores. De hecho, las señales de salida serán señales analógicas hacia los motores paso a paso, mientras que las señales de entrada serán las señales acústicas que se reciben en los sensores o micrófonos.

55 Por tanto, el sistema de adquisición y preprocesado es pequeño, robusto e ideal para el control y adquisición de datos en sistemas embebidos. Además, cuenta con un procesador embebido en tiempo real que permite operación fiable autónoma o distribuida. El chip FPGA embebido que integra, proporciona flexibilidad, rendimiento y fiabilidad hardware.

60 En función de la geometría de array con la que se quiere trabajar, se determina un número de posiciones de los micrófonos prefijadas en cada subarray, determinado como N posiciones. De tal forma, que la diferencia angular entre dos posiciones consecutivas para el micrófono en un subarray será de $360^\circ/N$.

Mediante este sistema de adquisición y preprocesado se realiza tanto la adquisición y generación de señales, como todo el procesado asociado al filtrado de las señales.

65 La parte software del sistema ha sido desarrollada mediante herramientas de programación gráfica, que permiten reducir el tiempo de desarrollo.

ES 2 380 464 A1

Debido a que el array es un sistema reconfigurable, parte de una configuración inicial, que luego es modificable dependiendo de la geometría que se requiera para la aplicación concreta.

El proceso de captura de señal es el siguiente:

1. Fijar la posición.
2. Adquisición de datos.
3. Almacenado de datos y preprocesado previo a la conformación de haz en recepción.
4. Modificación de la posición.
5. Pasos 2 y 3 hasta la última posición, en la cual ya se pasa a realizar la conformación de haz.
6. Conformación en recepción.
7. Procesado para la detección del objeto.

En cuanto al esquema de procesado completo consta de las siguientes fases:

En primer lugar se genera la señal a transmitir (en concreto un burst de pulsos sinusoidales), para a continuación amplificar dicha señal de forma previa a su emisión.

En segundo lugar, se lleva a cabo la transmisión de dicho burst a través del transmisor (altavoz), experimento que se debe ejecutar varias veces, como se explicó anteriormente en el planteamiento de la estrategia y metodologías de esta invención.

Durante la transmisión de los pulsos, se realiza, de forma simultánea, la adquisición de los datos de entrada, capturando la señal recibida en cada uno de los 4 micrófonos para cada experimento, realizando una amplificación de dichas señales y almacenándolas en un buffer (vía hardware).

Tras la captura del conjunto de señales recibidas en el array virtual se implementa un algoritmo de conformación de haz, que estima la señal recibida para cada ángulo de llegada, lo que equivale a implementar un filtro en el dominio espacial para cada ángulo.

El conformador realiza el procesado de señal de forma electrónica, y permite adaptar el diagrama de radiación, incluso de forma dinámica, a las condiciones del escenario concreto en el que se esté trabajando. Las técnicas de procesado digital de las señales recibidas consienten adaptar el diagrama de radiación mediante la capacidad para determinar y fijar la posición del lóbulo principal y los nulos del diagrama de radiación (W. Wirth, "Radar techniques using array antennas". *IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 10, London, UK, 2001*).

Por tanto, una vez obtenidas las muestras de todas las señales recibidas (en los M experimentos realizados), se realiza la conformación de haz, mediante la aplicación del algoritmo delay and sum (B. D. Van Veen and K. M. Buckley, "Beamforming: A Versatile Approach to Spatial Filtering". *IEEE ASSP Magazine, pp. 4-24, 1988*). Este algoritmo consiste en aplicar un retardo a cada una de las señales captadas por el array de sensores y realizar la suma de estas señales después. El objetivo para un ángulo dado es retardar de tal forma que las señales recibidas se sumen de forma coherente y maximizando la relación señal a ruido.

Después, se realiza el procesado necesario para detectar y localizar el objeto y su posición correspondiente. Por ello, a la salida del conformador de haz, se realiza una detección de la envolvente de la señal recibida, a continuación se aplica un filtro adaptado, un algoritmo de detección CFAR (basado en tasa de falsa alarma constante) y finalmente, se obtiene el valor máximo de la señal recibida, que contiene toda la información referente al objeto.

Se implementa un algoritmo de conformación de haz para el conjunto de señales obtenido, pudiendo generar un conjunto de haces (electrónicos) que cubren todo el espacio de vigilancia. Por tanto, debido a que se realiza un barrido en todos los ángulos, se aplica para todo ángulo un filtro adaptado, que permite maximizar la relación señal a ruido, y una vez que se tienen todas las señales, se aplica un algoritmo CFAR bidimensional, que emplea la información de rango y azimuth/elevación de las celdas espaciales contiguas, para ajustar el umbral de detección de forma dinámica al entorno y garantizar una probabilidad de falsa alarma constante, y se emplea un umbral dinámico (D. Barton, C. Cook, and P. Hamilton, "Radar Evaluation Handbook", Artech House, Boston, 1991).

De este modo, tras la detección, se obtiene la localización tridimensional de los objetos presentes, visualizándose en coordenadas cilíndricas (rango, azimuth y elevación) o cartesianas (x, y, z).

La configuración espacial de los cuatro sensores en cada experimento, se realiza de forma que no se repitan posiciones previamente seleccionadas. Para ello, cada vez las 4 posiciones de cada uno de los micrófonos deben ser diferentes, de tal forma que tras realizar los M experimentos, se hayan recorrido la totalidad de posiciones posibles.

ES 2 380 464 A1

Aunque el sistema permite emular $4 \cdot M$ sensores, es importante hacer notar que se pueden formar subgrupos de sensores, y por tanto, pueden emularse arrays con un número de sensores inferior a $4 \cdot M$, permitiendo implementar técnicas de "Thinning" ("*Application of vernier thinning techniques to segmented annular arrays*", O. Martínez, G. Godoy, M. A. G. Izquierdo y L. G. Ullate, *Ultrasonics, Volume 42, Issues 1-9, Abril 2004, páginas 977-982*) o bien técnicas basadas en arrays aleatorios ("*Randomly agglomerated subarrays for phased array radars*", Miller and J. Coleman, US4052723, octubre 1977).

El sistema esta orientado a la localización de objetos fijos o en su defecto con velocidades de desplazamiento lentas, pues esencialmente se requiere que el entorno sea cuasiestacionario mientras se realizan los M experimentos.

El sistema cuenta con un modo de funcionamiento de calibración para la comprobación, chequeo y puesta a punto tanto de los canales de recepción, ecualizando su ganancia y fase, como del posicionamiento inicial de los discos circulares.

Un array físico equivalente al virtual, requeriría tener $4 \cdot M$ sensores y de forma asociada $4 \cdot M$ canales de procesado, además de requerir que el microcontrolador tuviera memoria suficiente para albergar la totalidad de las señales recibidas, ya que se realizaría un único experimento. La ventaja de ese sistema sería que se minimizaría el tiempo de procesado, resultando del orden de M veces inferior al del array virtual, pero con un coste M veces superior. Se asume que el coste de los 4 posicionadores y su controlador es despreciable frente al coste de los micrófonos y sus canales de procesado.

En función de las características del objeto el sistema puede adaptarse variando el número total de posiciones equiespaciadas angulares de cada disco. De hecho, teniendo en cuenta que los motores paso a paso convencionales (sin reducciones externas) tienen del orden de 200 pasos (1.8 grados entre dos pasos consecutivos), siempre es posible barrer de forma más gruesa o más fina y por tanto se puede establecer un compromiso entre el número de sensores a emular y el tiempo de procesado.

Para casos en los que la velocidad del objeto sea elevada, y se requiera un procesado más rápido, se procederá a disminuir el número de posiciones equiespaciadas en los discos circulares. Por otro lado para objetos estáticos o cuando no haya restricciones en el tiempo de procesado, se procederá a aumentar el número de posiciones equiespaciadas en los discos.

Este sistema ofrece una flexibilidad ventajosa, además de que la plataforma permite un número de elementos muy superior al que sería realmente posible en su implementación física real, puesto que no existe solapamiento mecánico entre los micrófonos. Un único micrófono permite establecer una separación "virtual" sin ningún tipo de restricción física, a diferencia de lo que ocurre en un sistema real, que tiene la limitación del diámetro del micrófono.

El carácter reconfigurable de la geometría del array de la plataforma es, sin duda alguna, el elemento diferenciador de esta invención, ya que puede configurarse de forma adaptativa en función del sistema en que se aplique, y también en función del escenario y las características de los objetos que se pretende detectar y localizar. De este modo, el sistema puede variar sus parámetros. En concreto, aumentar o disminuir el número de posiciones angulares en las que ubicar los micrófonos, manteniendo un compromiso siempre entre el tiempo de procesado permitido y la velocidad del objeto.

Por tanto, las aportaciones fundamentales de la invención son las siguientes:

- Permite modificar la geometría del array para adaptar el diagrama de radiación al escenario, es decir, coloca los máximos y nulos bien en los objetos bajo estudio o bien en los interferentes, respectivamente.
- Permite modificar el número de sensores virtuales del array para controlar el tiempo de procesado.

Los ámbitos de aplicación de este patente son:

- a) La detección de objetos en la banda de audiofrecuencia (5 Khz-20 Khz), estimando con alta precisión su posición espacial en tres dimensiones.
- b) Los sistemas anti-intrusión para garantizar la seguridad en recintos cerrados públicos o privados.
- c) Los sistemas de seguridad para pacientes con discapacidades físicas y/o avanzada edad en sus domicilios, para controlar su posición y posibles accidentes, así como el seguimiento de su movimiento para evitar accidentes o atender cuanto antes al paciente que se halla en situación de peligro.
- d) Los sistemas de localización de participantes en reuniones y/o conferencias en una sala, para facilitar y automatizar los sistemas de grabación y videoconferencia empleados.
- e) Los sistemas de localización de fuentes acústicas interferentes en salas, para detectar fuentes no deseadas y cancelar su efecto sobre la señal de interés.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 muestra el esquema completo del sistema que propone la patente a partir del cual se describe la metodología de operación del mismo. Los elementos de la figura son:

1. Plataforma del array.
2. Altavoz central.
3. Disco circular giratorio.
4. Micrófono.
5. Motor paso a paso.
6. Amplificador para altavoz.
7. Preamplificador para micrófonos.
8. Sistema de adquisición y preprocesado .
9. Adaptador (driver).
10. Equipo informático.
11. Algoritmos de procesado.

La figura 2 detalla la plataforma base con la ubicación de los discos giratorios y del altavoz. Mientras que la figura 3 muestra uno de los subarrays circulares en anillo, sobre el disco giratorio.

La figura 4 presenta un diagrama de flujo referente a los diferentes estados y funcionamiento del sistema. Aborda el comportamiento del sistema desde el punto de vista del array reconfigurable, tanto en transmisión como en recepción. La parte correspondiente a transmisión hace referencia al posicionamiento del array y a la emisión de señal por el altavoz. Mientras que la parte correspondiente a recepción se refiere a la recepción de señal en el array.

La figura 5 muestra la forma de la señal de trabajo, que es recibida en cada sensor.

La figura 6 presenta el escenario en el que se han realizado las pruebas del ejemplo descrito anteriormente. Dicho escenario es una cámara anecoica, que ha permitido realizar los experimentos en condiciones óptimas para contar con unas condiciones de medición adecuadas, para garantizar resultados válidos, con precisión y fiables.

Las figuras 7a y 7b son imágenes de ejemplo que muestran resultados de las pruebas realizadas, de la detección de objetos en el escenario, que demuestran la forma de exponer visualmente los resultados de detección y localización de los objetos.

Ejemplo de realización de la invención

En la figura 1 se detalla una realización de la invención, mientras que en la figura 4 se puede contemplar la secuencia de estados o pasos del funcionamiento de la misma.

Se han construido 4 discos giratorios, de 25 cm. de diámetro, que tienen posicionado un micrófono a 20 cm. del centro de giro. Los centros de los 4 discos están situados sobre los vértices de un rombo cuyo eje mayor mide 100 cm. y su eje menor 75 cm. (Ver Fig 2).

Cada disco esta accionado por un motor paso a paso que permite realizar desplazamientos angulares discretos de los micrófonos de forma muy precisa. El modelo empleado de motor paso a paso es un NEMA de National Instruments con 3.000 rpm de máxima velocidad y 1.8 de paso de giro en grados, que trabaja con los drivers de la serie P7000. Los codificadores requeridos tienen una resolución de 1000 operaciones por revolución. Es un motor de 2 fases con alta precisión (3% de precisión angular), que proporciona pasos de incremento angular de 1.8 grados en 200 pasos por revolución.

La adquisición, generación y filtrado se realiza en una plataforma hardware (8) CompactRIO de National Instruments. Dicha plataforma está constituida por una FPGA Spartan-3 de Xilinx y un microcontrolador NI cRIO-9073.

ES 2 380 464 A1

El sistema NI cRIO-9073 es integrado y combina un procesador en tiempo real y una FPGA reconfigurable en el mismo chasis para aplicaciones embebidas de monitoreo y control. En concreto, integra un procesador industrial en tiempo real de 266 MHz una FPGA Spartan-3 de Xilinx de 2 M puertas y 8 ranuras para módulos de entrada y salida de la serie C, para temporización, control y procesamiento de entradas y salidas personalizadas.

5

En esta plataforma se han integrado los módulos:

- NI 9233 con 4 conversores A/D, de 24 bit con $f_s = 50$ kHz para la adquisición de las señales procedentes de los micrófonos.
- NI 9263 con 4 conversores D/A de 16 bit con $f_s = 100$ kHz para la generación de la señal en el altavoz.
- NI 9512 un controlador de motores paso a paso de 1 eje, que tiene asociado un controlador de potencia (driver) P70530. Se utilizan 4 unidades.

10

15

Los diferentes módulos de la plataforma hardware CRIO son independientes. El acceso, operación y control del hardware se realiza vía software, desde el PC. La visualización de los resultados obtenidos en los experimentos, intermedios del procesado y finales referentes a la localización de los objetos detectados, también se realiza desde el PC. Se ha trabajado con software de LabView, también de National Instruments, versión 8.6 (10).

20

En relación a los sensores y los amplificadores:

- El altavoz es un modelo tipo tweeter de alta impedancia con máximo de tensión 20 Voltios de pico.
- Los 4 micrófonos son Behringer modelo C-2, que requieren polarización y alimentación independiente.
- El preamplificador es TASCAM modelo MX-80.

25

30

Se ha empleado un ordenador personal del tipo PC Pentium Core Duo y 2 GB de memoria RAM (10).

Finalmente se ha trabajado con pulsos sinusoidales de frecuencia 7.5 kHz y duración 1 ms.

35

La circunferencia se ha dividido en 20 posiciones equiespaciadas, emulando en total un array de 80 (20×4) micrófonos. No obstante en base a la resolución angular del motor es posible emular arrays desde 4 a 800 micrófonos.

40

Asumiendo un rango máximo de trabajo de 5 metros, se necesitan como máximo 30 ms. para que una señal llegue al objeto y retorne. Por tanto el tiempo total de adquisición para un array virtual de 80 micrófonos ha sido de 20×30 ms. = 600 ms.

45

Los experimentos y pruebas se han realizado en una cámara anecoica de dimensiones $2 \times 3 \times 5$ m³ que han permitido realizar las ejecuciones en condiciones de precisión. Para evaluar el sistema se ha definido un escenario formado por 3 objetos en la sala anecoica.

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Sistema acústico para detección y localización, que se basa en un array físico de 4 sensores que emula a un array
virtual con un número elevado de sensores, **caracterizado** por 4 discos circulares giratorios (3) con un micrófono
en cada uno de ellos (4), un altavoz (2), 4 motores paso a paso que accionan los discos (5) una plataforma base
(1), un adaptador (driver) para los motores paso a paso (9), 4 equipos pre-amplificadores para los micrófonos (7), un
equipo amplificador para el altavoz (6), un sistema de adquisición y preprocesado (8) compuesta por: microcontrolador,
10 FPGA, 1 módulo de entrada analógica de 4 canales, 1 módulo de salida analógica de 1 canal y un módulo de control de
motores paso-paso de 4 canales, un equipo informático (10) y un software con los algoritmos de procesado necesarios
para el funcionamiento del sistema (11).

15 2. Sistema acústico para detección y localización, según reivindicación 1, **caracterizado** por un array reconfigura-
ble, que permite definir geometrías del array de forma dinámica.

3. Sistema acústico para detección y localización, según reivindicación 1, **caracterizado** por tener los centros de
los discos giratorios ubicados en los vértices de un rombo y por tener el altavoz situado en el centro geométrico del
rombo.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

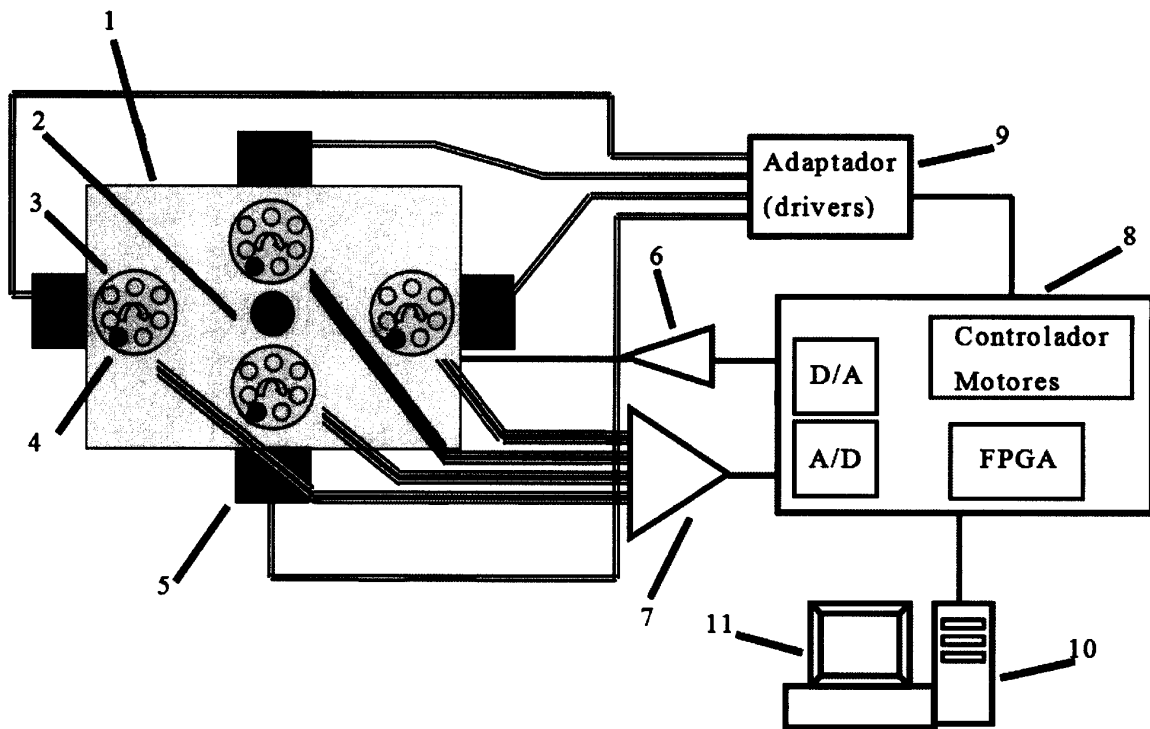


Figura 1

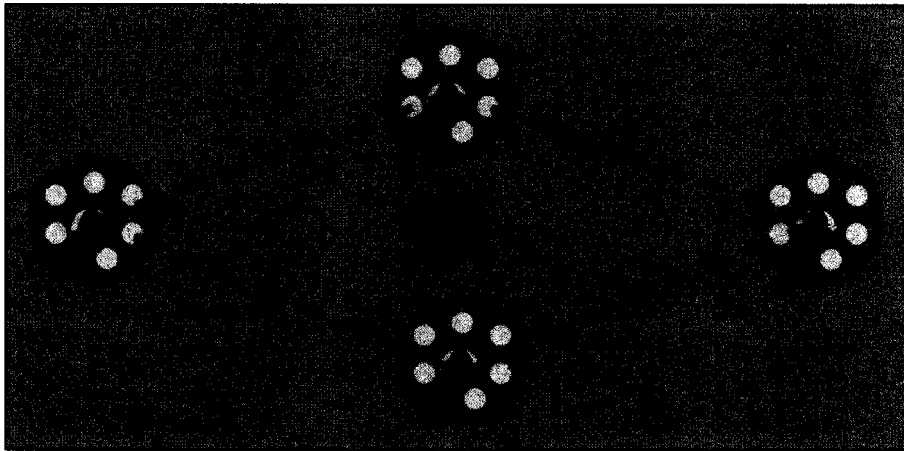


Figura 2

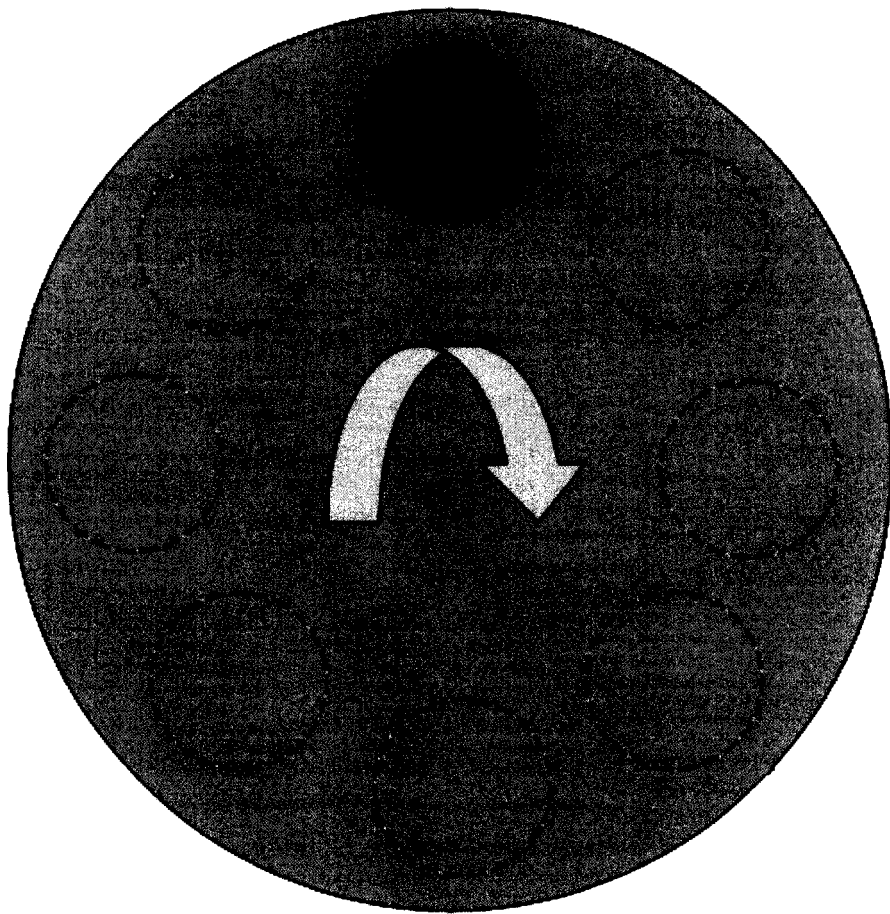


Figura 3

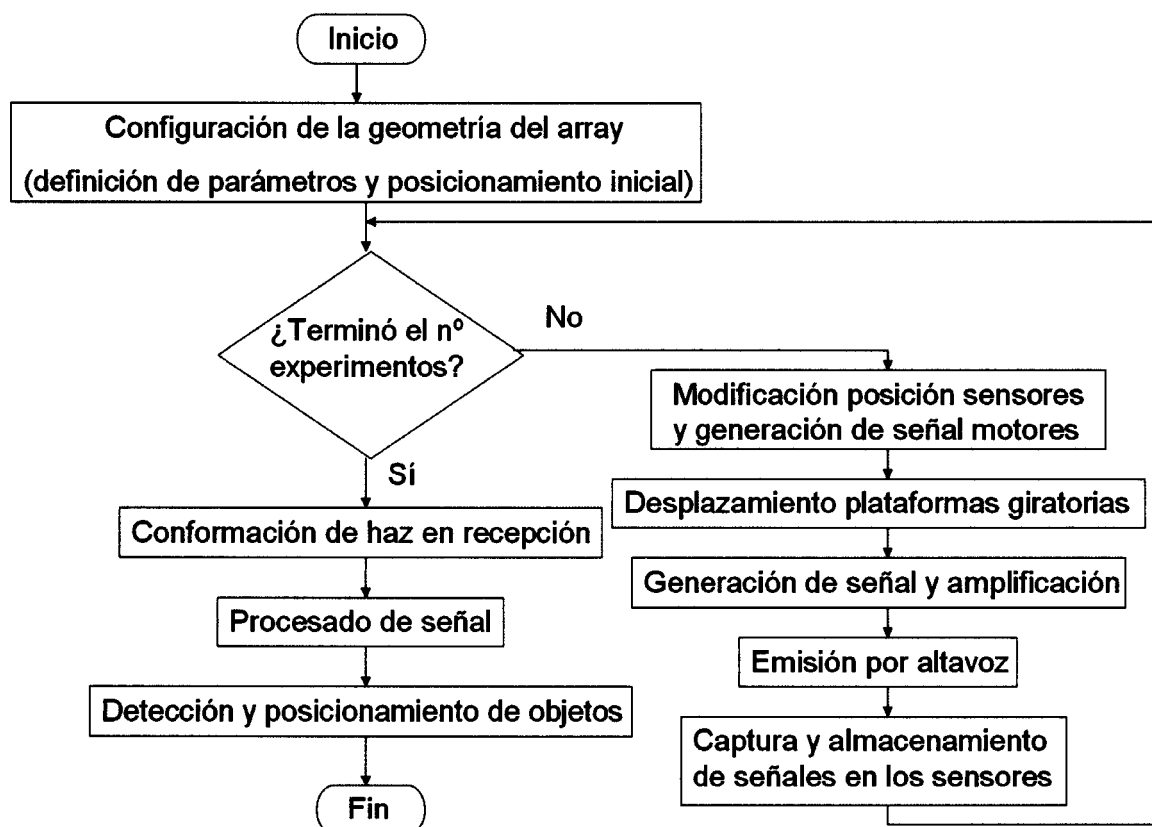


Figura 4

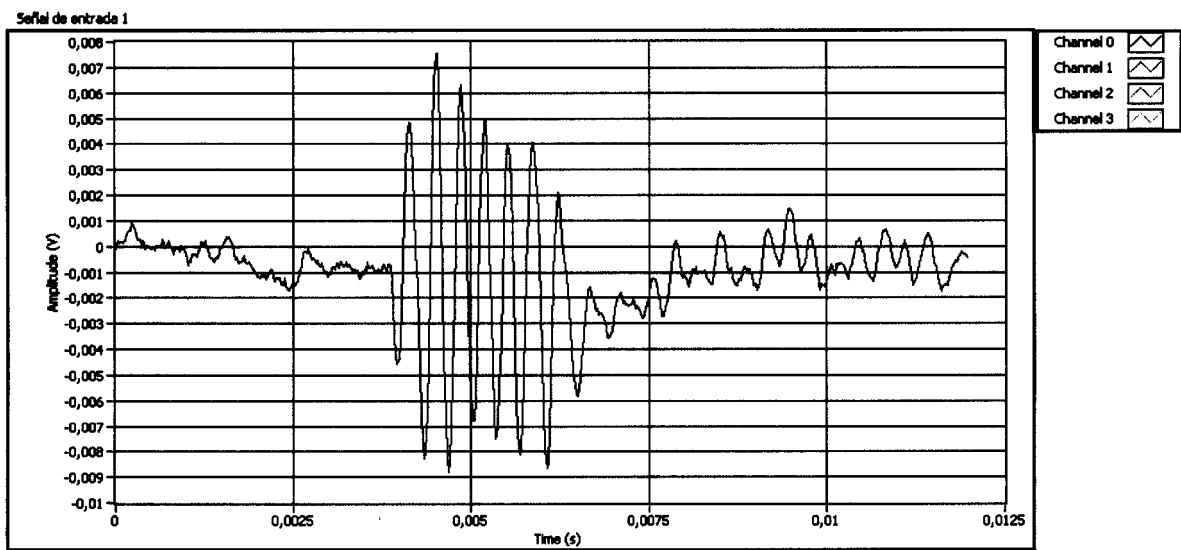


Figura 5

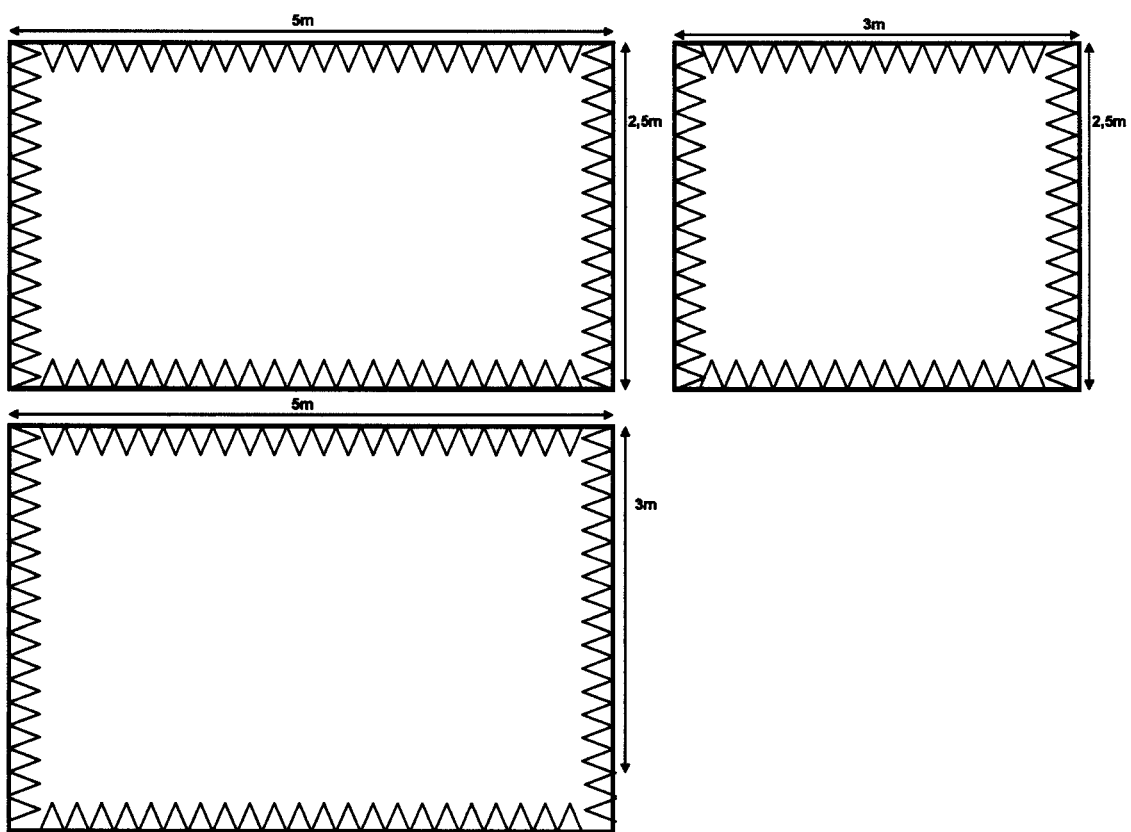


Figura 6

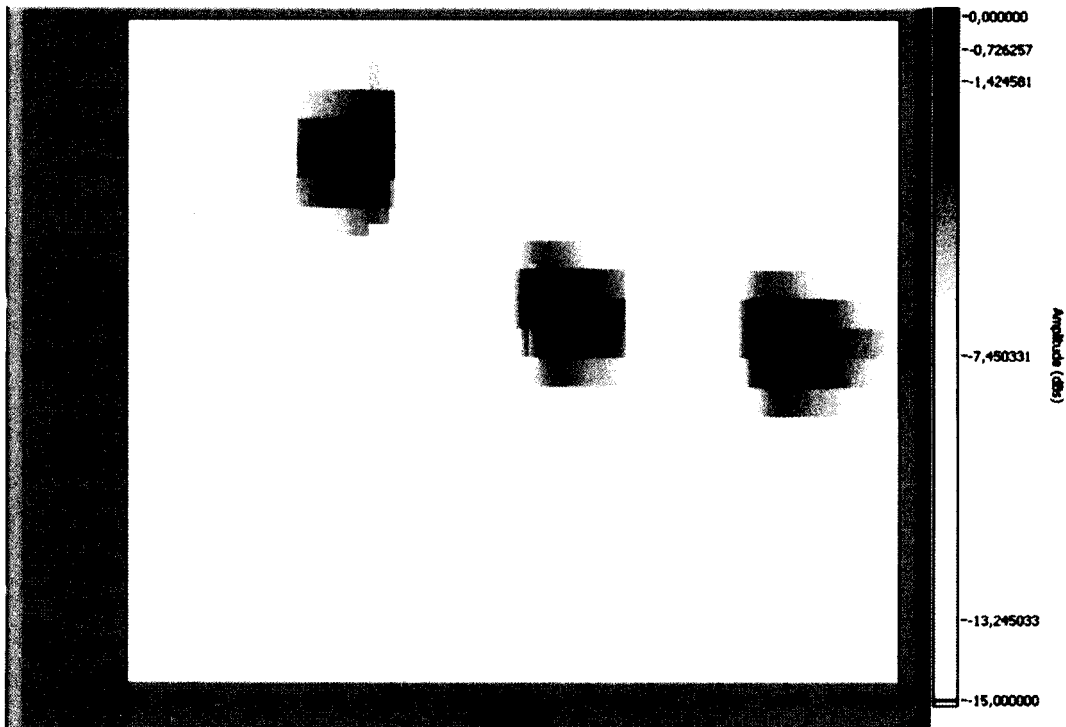


Figura 7a

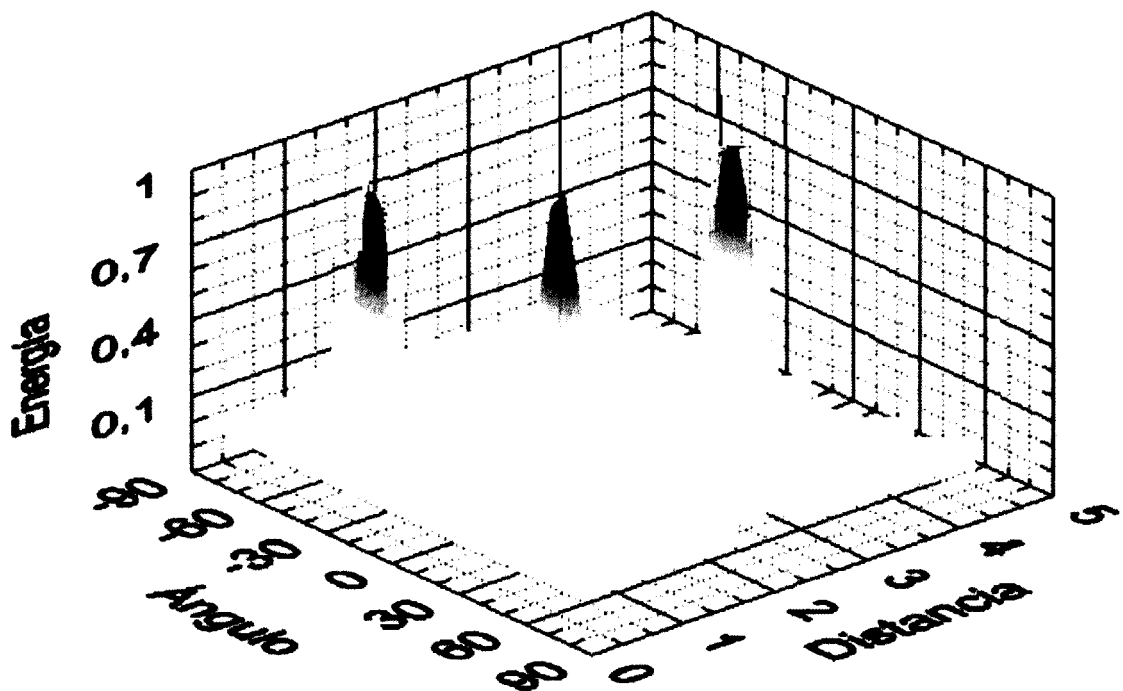


Figura 7b



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201001387

②② Fecha de presentación de la solicitud: 25.10.2010

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01S5/20** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	NATIONAL INSTRUMENTS, "Emulador NI CompactRIO para Localización de Fuentes Acústicas mediante Procesado en Array en Tiempo Real", Autores: M ^a ISABEL JIMÉNEZ GÓMEZ Y ALBERTO IZQUIERDO FUENTE - Univ. Valladolid. Publicado 15/04/2009. URL:// http://web.archive.org/web/20090415221905/http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-11090	1-3
Y	NATIONAL INSTRUMENTS, "NI Motion control Bundle"; Publicado 11/09/2010 URL:// http://web.archive.org/web/20100911232340/http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/207623#	1-3
A	CompactRio – Publicado 15/04/2007 URL:// http://web.archive.org/web/20070415224042/http://www.ni.com/pdf/products/us/cat_crio_9103.pdf	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe
26.04.2012

Examinador
B. Pérez García

Página
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01S

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 26.04.2012

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-3	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	SI
	Reivindicaciones 1-3	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	NATIONAL INSTRUMENTS, "Emulador NI CompactRIO para Localización de Fuentes Acústicas mediante Procesado en Array en Tiempo Real", Autores: M ^a ISABEL JIMÉNEZ GÓMEZ Y ALBERTO IZQUIERDO FUENTE - Univ. Valladolid.	15.04.2009
D02	NATIONAL INSTRUMENTS, "NI Motion control Bundle"	11.09.2010
D03	CompactRio	15.04.2007

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera D01 el documento del estado de la técnica anterior más próximo al objeto de la invención.

Siguiendo la redacción de la reivindicación 1, el documento D01 describe un sistema acústico para detección y localización que se basa en un array de 4 sensores (*micrófonos omnidireccionales equidistantes*) que emula a un array virtual con un número elevado de sensores (*donde se implementa un conformado determinístico de tipo delay-sum que de forma secuencial direcciona electrónicamente el array, para un conjunto de ángulos que barren uniformemente el espacio de vigilancia*), caracterizado porque se dispone de un altavoz con amplificación -equivalente a las referencias 2 y 6 de la solicitud (*el altavoz de calibración se conecta a un puerto de salida del módulo 9263*), 4 equipos preamplificadores para los micrófonos (*preamplificador conectado a los puertos de entrada del módulo 9233*), un sistema de adquisición y preprocesado (*plataforma CompactRio compuesta por un chasis modular 9103 con 4 slots*) y microcontrolador en tiempo real (*9004*), FPGA (*FPGA de 3M puertas*), un módulo de entrada analógica de 4 canales (*NI9233 con 4 conversores A/D*), un módulo de salida analógica de un canal (*NI9263*) y un módulo de control de motores paso a paso de 4 canales (*NI9474*), un equipo informático (*PC Core duo a 1.6MHz con 512 M*) y un software (*LabView Real-Time y FPGA*) con los algoritmos de procesado necesarios para el funcionamiento del sistema.

El documento D01 anticipa el objeto de la primera reivindicación, ya que persigue los mismos objetivos que ésta: localización de fuentes acústicas mediante técnicas de array en tiempo real, localizando las fuentes en rango (dirección) y acimut (ángulo). Para ello, en el apartado de Diseño y desarrollo de D01 se explica cómo se lleva a cabo de forma similar a la definida en la descripción de la solicitud.

La única diferencia entre ambos documentos es que en la primera reivindicación se indica que para implementar se incorporan a la plataforma cuatro motores paso a paso, uno asociado a cada micrófono, que permitirán hacer todo el barrido.

El efecto técnico de esta diferencia es que empleando dichos motores se puede realizar un barrido virtual de todo el área empleando únicamente cuatro sensores o micrófonos, al utilizar la técnica delay-sum beamforming, ampliamente utilizada en este campo, para hacer el barrido.

El problema técnico objetivo es cómo conectar los motores paso a paso al sistema descrito para conseguir ese efecto.

No obstante, este problema aparecería resuelto con el documento D02, que describe un paquete de elementos y herramientas para el control de movimiento y conectable como salida a la plataforma CompactRio empleada tanto en D01 como en la solicitud.

Por tanto, se considera que no tiene actividad inventiva para un experto en la materia, utilizar un sistema como el descrito en D01 y añadirle el paquete de control de movimiento, que incluye el motor paso a paso, los drivers, el propio sistema reconfigurable NI CompactRio, etc para conseguir el objeto de la primera reivindicación. Es decir, la reivindicación 1 carece de actividad inventiva según el Art 8 de la Ley 11/1986.

La segunda reivindicación establece que el array sea reconfigurable, permitiendo definir geometrías de array de forma dinámica.

La tercera reivindicación añade que los motores se colocan en forma de rombo con un altavoz en el centro geométrico de éste.

Las características técnicas del módulo NI9103 (elemento clave de la invención) establecen que es un sistema reconfigurable. Por otro lado, colocar los micrófonos de una forma u otra, por ejemplo, linealmente o circularmente es algo totalmente conocido en el estado de la técnica: emplear una forma de rombo o circular no se considera que contribuya al resultado técnico de la invención. Además, D01 sí que detalla que el array se crea con cuatro micrófonos equidistantes.

Obviamente para que el altavoz recoja igual y de la mejor forma posible la señal de los cuatro micrófonos, lo lógico es poner éste en el centro.

No se considera que estas reivindicaciones requieran un esfuerzo inventivo para un experto en la materia.

En resumen, se considera que la solicitud presentada no tiene actividad inventiva según el Art. 8 de la Ley Española de Patentes y queda anticipada por la combinación de los documentos D01 y D02.