

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 691 032**

51 Int. Cl.:

**G01S 15/87** (2006.01)

**G01S 7/526** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.03.2013 PCT/EP2013/054667**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.09.2013 WO13132038**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2013 E 13707897 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.07.2018 EP 2823332**

54 Título: **Sistema y procedimiento para la detección de blancos**

30 Prioridad:

**08.03.2012 GB 201204141**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**23.11.2018**

73 Titular/es:

**UNIVERSITEIT ANTWERPEN (100.0%)**

**Prinsstraat 13**

**2000 Antwerpen, BE**

72 Inventor/es:

**STECKEL, JAN y**

**PEREMANS, HERBERT**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 691 032 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento para la detección de blancos.

Campo de la invención

5 La invención se refiere al campo de la localización de objetos. Más concretamente, se refiere a procedimientos y sistemas para localizar objetos basados en la detección con sónar de objetos en el aire.

Antecedentes de la invención

10 Los datos del sónar son útiles para interacciones de bajo nivel, por ejemplo, la evitación de obstáculos en tiempo real, pero típicamente se consideran inviables para proporcionar la modalidad de sensor para las interacciones de la robótica inteligente con el mundo. Sin embargo, los murciélagos muestran a diario que la detección con sónar permite unas interacciones ricas con el entorno al realizar una gran variedad de comportamientos interesantes e inteligentes.

Demuestran continuamente que un sistema de sónar puede extraer toda la información necesaria para interacciones inteligentes con el entorno.

15 Para que un sistema de sónar sea útil para la navegación en entornos de oficina en la vida real, debe cumplir varios criterios. En primer lugar, el sensor debe tener un amplio campo de visión (FOV), que es útil para las tareas de navegación en espacios cerrados. Debido al hecho de que las ondas acústicas en el intervalo ultrasónico se reflejan especularmente desde las grandes superficies, solo las ondas sonoras que inciden en la dirección normal a la superficie se reflejan de nuevo hacia el sensor de sónar. A la hora de navegar por un pasillo, corredor o puerta, tener un FOV anchura es crucial.

20 A continuación, el sensor debe obtener información espacial sobre su entorno utilizando una sola medición. Como la velocidad del sonido en el aire es bastante lenta ( $v_s = 343$  m/s), un límite superior duro de la velocidad de medición máxima restringe el diseño del sistema. Si se escanea el entorno con un escaneado mecánico y mediciones múltiples, el sensor de sónar inevitablemente tendrá una velocidad de actualización de la información baja, por lo que se debe evitar el escaneado mecánico. Partiendo naturalmente de esta restricción, se debe maximizar la cantidad de información que se debe extraer de cada medición. La complejidad operativa asociada con los sistemas mecánicos aboga aún más por el uso de sistemas de sónar estáticos.

25 Finalmente, el sistema debe poder hacer frente a los ecos superpuestos (es decir, los ecos que llegan simultáneamente al sensor). Los ecos superpuestos se producen regularmente durante las tareas realistas de navegación en interiores, por ejemplo, mientras navega por una puerta o un pasillo (similar a la primera restricción). Los ecos de ambos bordes de la puerta, en una situación ideal (mientras el robot pasa directamente a través de la puerta), llegan simultáneamente al sensor. El sensor debe poder distinguir los múltiples ecos superpuestos sin realizar estimaciones falsas de las posiciones del mismo (por ejemplo, promediando los dos ecos hacia un reflector en el centro).

35 La tecnología de sónar existente se puede dividir aproximadamente en dos categorías: sistemas de sónar biomiméticos que intentan imitar la ecolocalización del murciélago y que se basan en gran medida en las señales espectrospaciales introducidas por el emisor y los receptores, y la tecnología de sónar clásica que utiliza una variedad de sensores y diferencias en los tiempos de llegada a cada sensor para estimar la ubicación de los reflectores.

40 Los sistemas de sónar biomiméticos han sido propuestos varias veces antes. Todos estos mecanismos utilizan emisiones de banda ancha y algún tipo de filtro espacial, denominado función de transferencia relacionada con la cabeza (HRTF). Como el espectro de la emisión se conoce aproximadamente en un sistema de sónar activo, se puede calcular la diferencia entre los espectros emitidos y recibidos. Las diferencias calculadas se pueden utilizar para estimar la posición del reflector. Los resultados y la limitación de este tipo de sistema se han estudiado en un contexto de teoría de la información. Una de las principales limitaciones que tiene este tipo de sistemas es tratar con los ecos superpuestos. Los ecos simultáneos interfieren seriamente entre sí, dando como resultado un espectro distorsionado en lugar de múltiples espectros separados. El espectro distorsionado a veces codifica la dirección del reflector más fuerte en el caso de dos reflectores con diferentes intensidades, pero en el caso de reflexiones igualmente fuertes (como cuando se pasa en medio de una puerta) el espectro resultante no codifica ninguna de las posiciones reales. El filtrado introducido por el reflector también deteriora el resultado de la localización, ya que la mayoría de los modelos biomiméticos suponen unos reflectores tipo punto con respuestas de frecuencia planas.

55 Los sistemas de sónar no biomiméticos no se limitan a los algoritmos de localización basados en el espectro, y pueden construirse con un número cualquiera de sensores y emisores. Si solo se utiliza un sensor de banda estrecha, de la medición solo se puede extraer la información de alcance. El ejemplo más famoso de este sistema es el sistema de alcance ultrasónico Polaroid. Utiliza el tiempo de vuelo (TOF) de las ondas sonoras para estimar el alcance al reflector más cercano. Sobre la base de estos sistemas, se han ideado formas inteligentes de extraer información de rodamientos.

5 Por ejemplo, se sugirió una configuración de 3 sensores Polaroid para proporcionar una estimación insesgada del posicionamiento de un blanco 2D basado en las diferencias de TOF entre los sensores. Este paradigma de TOF se ha investigado con éxitos relativos, haciendo uso de técnicas como la correlación, el filtrado coincidente, PCA, etc. Otra forma de generar información espacial es escanear mecánicamente el entorno utilizando un sensor de alcance y una unidad de panorámica/inclinación. Si bien los mapas espaciales generados contienen información de alta resolución, el escaneado mecánico hace que este tipo de sensores no sea factible en una aplicación de navegación robótica debido a la limitada velocidad de actualización de la información.

10 Aunque el escaneado mecánico no es factible en una aplicación robótica, el escaneado electrónico que utiliza una matriz de receptores en fase puede ser una forma interesante de resolver varios problemas. Uno genera un filtro espacial utilizando una matriz de transductores espaciados muy juntos y técnicas de procesamiento de señales adecuadas, que van desde el simple retardo y la suma de conformación de haz a las técnicas de formación de haces en subespacios de alta resolución. Este filtro espacial se puede dirigir en varias direcciones en el procesamiento posterior, sin la necesidad de mediciones múltiples. Los sistemas de sónar que usan tecnología de matriz se han propuesto repetidamente en la literatura. Aunque se proponen diferentes tipos de matrices, utilizando una variedad de técnicas de procesamiento de señales y topologías de matrices y señales de ecolocación de banda estrecha y banda ancha, todavía existe la necesidad de un buen sistema de ecolocalización. En "Devising an Affordable Sonar System for Underwater 3-D vision" IEEE Transactions on instrumentation and measurement, vol. 57 (10) 2008, Trucco y col. describen un sistema de imágenes acústicas 3D de alta resolución basado en una matriz planar dispersa de sensores para aplicaciones subacuáticas.

20 En "Synthetic Aperture Sonar in Air Medium Using a Nonlinear Sidelobe Canceler", Electronics and Communications in Japan, parte 3, 82, 12 (1999) págs. 815 - 826, Saruwatari y col. describe una técnica de procesamiento para reducir los lóbulos laterales de un sónar que funciona en el aire.

#### Resumen de la invención

25 Es un objetivo de las realizaciones de la presente invención proporcionar un buen sistema y procedimiento para la localización de uno o más blancos.

30 El objetivo se consigue mediante los aparatos, el procedimiento, el procesador y los productos de programa informático, tal como se establece en las reivindicaciones independientes. Una ventaja de las realizaciones según la presente invención es que se obtiene una buena resolución, por ejemplo, suficientemente buena para realizar una localización exacta. Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que la resolución espacial obtenida puede ser suficientemente alta para permitir distinguir diferentes objetos incluso si están situados uno cerca del otro.

Es una ventaja de al menos algunas realizaciones de la presente invención que se proporciona un sistema que es rígido, lo que da como resultado un sistema robusto.

Una ventaja de al menos algunas realizaciones según la presente invención es que se puede obtener un amplio campo de visión, por ejemplo, hasta una media esfera.

35 Es una ventaja de al menos algunas realizaciones según la presente invención que se puede obtener una alta velocidad de medición, por ejemplo, hasta 10 mediciones por segundo, ventajosamente hasta 15 mediciones por segundo, aún más ventajosamente hasta 20 mediciones por segundo. Por lo tanto, es una ventaja que el escaneado se puede realizar de una manera no mecánica.

40 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que se puede obtener una entrada exacta y útil, aunque los planos de los objetos actúan como un espejo acústico y solo reflejan las ondas sonoras de una manera especular, lo que hace más difícil la observación en comparación con, por ejemplo, la formación de imágenes.

El objetivo anterior se consigue mediante un procedimiento y dispositivo según la presente invención.

45 La presente invención se refiere a un sensor basado en sónar para la localización de un blanco en el aire, el sensor que comprende un emisor de banda ancha o ultraancha para emitir una señal de banda ancha o ultraancha, y un conjunto de receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente para recibir la señal de banda ancha o ultraancha después de su reflexión en el blanco. Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que las señales pueden codificarse de manera que se pueda realizar una operación simultánea con múltiples unidades. Es una ventaja de las realizaciones según la presente invención que la localización exacta de objetivos puede obtenerse basándose en un procesamiento simple en un amplio campo de visión utilizando los resultados obtenidos con el sensor. Es una ventaja de las realizaciones según la presente invención que pueden obtenerse datos de medición con relaciones señal-ruido bajas, dando como resultado la posibilidad de una localización mejorada. Es una ventaja de las realizaciones según la presente invención que se proporcionan sistemas de sónar tecnológicos que permiten interacciones de la robótica inteligente en situaciones de la vida real. El sensor puede configurarse de manera que para un único evento de detección, solo se utilice un único emisor. Según algunas realizaciones de la presente invención, el sensor puede comprender solo un emisor. Un único emisor de este tipo puede, en algunas realizaciones, hacer uso de dos altavoces separados que están reproduciendo al

mismo tiempo. Dicho de otro modo, se pueden utilizar varios altavoces para emitir omnidireccionalmente, pero los altavoces se utilizan al mismo tiempo.

5 Los receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente pueden estar dispuestos espacialmente aleatoriamente o irregularmente en dos direcciones para permitir la localización tridimensional. Es una ventaja de, al menos, algunas realizaciones de la presente invención que se pueden proporcionar sistemas que también puedan medir el acimut y la elevación además de la distancia, lo que permite obtener imágenes tridimensionales, dando como resultado una mejor localización. En algunas aplicaciones, es una ventaja que se puedan obtener imágenes tridimensionales exactas.

10 El sensor puede adaptarse para detectar señales de sónar y el emisor puede adaptarse para emitir una onda sonora.

15 Es una ventaja de, al menos, algunas realizaciones de la presente invención que estas aplicaciones son adecuadas para, por ejemplo, robots en movimiento, inspección ambiental, conducción automática y/o el control o apoyo de las mismas. Es una ventaja de las realizaciones según la presente invención que se pueden aplicar para conducir o ayudar en la conducción de, por ejemplo, sillas de ruedas eléctricas, carretillas elevadoras, automóviles, robots tales como, robots de limpieza, diferentes tipos de vehículos, etc.

20 El emisor de banda ancha o ultraancho se puede adaptar para emitir señales con un ancho de banda que abarca al menos una octava, por ejemplo, al menos dos octavas, etc. El emisor de banda ancha o ultraancho puede adaptarse para emitir señales con un ancho de banda de al menos 10 khz, ventajosamente al menos 20 khz, más ventajosamente 30 khz, por ejemplo, en aplicaciones de sónar. En algunas realizaciones el ancho de banda puede abarcar el intervalo de 20 khz a 120 khz, por ejemplo, de 30 khz a 80 khz, por ejemplo, de 20 khz a 40 khz.

25 Los receptores pueden ser distribuidos de forma dispersa. La densidad del receptor puede ser, por ejemplo, menor que 0,5 receptores/  $\lambda_{\text{máx}}^2$ , por ejemplo, entre 0,2 y 0,05 receptores/  $\lambda_{\text{máx}}^2$ , por la que  $\lambda_{\text{máx}}$  es la longitud de onda máxima en la señal de banda ancha o ultraancho, aunque las realizaciones de la presente invención no están limitadas a ello. Es una ventaja de al menos algunas realizaciones según la presente invención que el sistema puede fabricarse a un coste relativamente bajo, por ejemplo, en vista del número limitado de sensores que se requieren y/o en vista de que los receptores están situados en una superficie rígida.

Además, el sensor puede comprender un procesador para procesar las señales recibidas, el procesador que está adaptado para procesar un ángulo de acimut y un ángulo de elevación. Es una ventaja de las realizaciones según la presente invención que se puede realizar una determinación 3D exacta.

30 El procesador puede adaptarse para procesar el conjunto de señales de receptor aplicando un filtro coincidente, reconstruyendo los haces y extrayendo una envolvente de la señal para derivar la ubicación de un blanco.

El conjunto de receptores puede colocarse en una configuración fija entre sí. El conjunto de receptores puede montarse en una estructura rígida para obtener dicha configuración fija.

35 La presente invención también se refiere a un procesador para procesar señales de sensor basado en sónar, el procesador que comprende unos medios de entrada adaptados para recibir señales de un conjunto de receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente y un medio de cálculo para calcular la ubicación de un blanco en el aire, el medio de cálculo que está adaptado para calcular teniendo en cuenta un ángulo de acimut y un ángulo de elevación.

40 El medio de cálculo puede programarse para aplicar un filtro coincidente, reconstruir los haces y extraer una envolvente de la señal a fin de derivar la ubicación de un blanco. Debe notarse que el procesamiento puede realizarse mediante un retardo básico y la suma de conformación de haz. Sin embargo, también se pueden utilizar otras, por ejemplo, formaciones de haces más complejas.

45 La presente invención también se refiere a un procedimiento para localizar un blanco basado en un sónar, el procedimiento que comprende obtener un conjunto de señales de receptor, recibidas en respuesta a una señal de banda ancha o ultraancho después de su reflexión en el blanco en el aire, utilizando un conjunto de receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente, y derivando una ubicación del blanco en el aire basada en el conjunto obtenido de señales de receptor. El procedimiento puede comprender el uso de un único emisor para generar la señal de banda ancha o ultraancho. La señal de banda ancha o ultraancho puede comprender frecuencias variables.

50 Los aspectos particulares y preferidos de la invención se exponen en las reivindicaciones independientes y dependientes adjuntas. Las características de las reivindicaciones dependientes pueden combinarse con las características de las reivindicaciones independientes y con las características de otras reivindicaciones dependientes, según proceda y no simplemente como se establece explícitamente en las reivindicaciones. Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes y se esclarecerán en relación con la o las realizaciones se describen a continuación.

55

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 ilustra un sensor que utiliza un emisor de banda ultraancha y un conjunto disperso de receptores colocados aleatoriamente o irregularmente, según una realización de la presente invención.

5 La FIG. 2 ilustra un diagrama de flujo esquemático de un procedimiento para localizar un objeto, según una realización de la presente invención.

La FIG. 3 ilustra una comparación de patrones de matriz de direccionalidad para una matriz densa, para una matriz grande y para una matriz dispersa aleatoria, que ilustra las ventajas de las realizaciones según la presente invención.

10 La FIG. 4 ilustra un ejemplo de bloques de construcción de un sensor de localización, según una realización de la presente invención.

La FIG. 5 ilustra un flujo de procesador (a) y detalles de un procesador de conformación de haz (b) según una realización de la presente invención.

La FIG. 6 ilustra una comparación entre la posición real y una posición estimada del acimut y la elevación y un histograma de los errores de estimación, que ilustran las ventajas de las realizaciones de la presente invención.

15 La FIG. 7 ilustra los resultados de la detección de dos polos idénticos en alcances idénticos que causan ecos simultáneos (configuración superior izquierda, resultados de detección superior derecha) y de dos polos justo delante del sensor pero con distintos alcances (configuración inferior izquierda, resultados de detección inferior derecha).

20 La FIG. 8 ilustra una descripción general esquemática de la odometría acústica que puede realizarse utilizando un sistema según realizaciones de la presente invención.

La FIG. 9 ilustra la distribución espacial del error de ángulo interior en función del ángulo de apertura, ilustrando las características de las realizaciones de la presente invención.

Los dibujos son solo esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede ser exagerado y no dibujado a escala con fines ilustrativos.

25 Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no se interpretará como limitativo del alcance.

En los diferentes dibujos, los mismos signos de referencia se refieren a elementos iguales o análogos.

Descripción detallada de las realizaciones ilustrativas

30 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y en relación con ciertos dibujos, pero la invención no está limitada a los mismos sino solamente por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solo esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede ser exagerado y no dibujado a escala con fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no se corresponden con las reducciones reales para poner en práctica la invención.

35 Además, los términos primero, segundo y similares en la descripción y en las reivindicaciones, se utilizan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir una secuencia, ya sea temporalmente, espacialmente, en una clasificación o de cualquier otra manera. Se ha de entender que los términos utilizados de esta manera son intercambiables en circunstancias adecuadas y que las realizaciones de la invención descritas en la presente memoria pueden funcionar en otras secuencias distintas de las descritas o ilustradas en la presente memoria.

40 Además, los términos superior, inferior y similares en la descripción y las reivindicaciones se utilizan con fines descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Se ha de entender que los términos utilizados de esta manera son intercambiables en circunstancias adecuadas y que las realizaciones de la invención descritas en la presente memoria pueden funcionar en otras orientaciones distintas de las descritas o ilustradas en la presente memoria.

45 Debe observarse que el término "que comprende", utilizado en las reivindicaciones, no debe interpretarse como restringido a los medios enumerados después; no excluye otros elementos o etapas. Por lo tanto, debe interpretarse como que especifica la presencia de las características, números enteros, etapas o componentes indicados, pero no excluye la presencia o incorporación de una o más de otras características, números enteros, etapas o componentes, o grupos de los mismos. Así, el alcance de la expresión "un dispositivo que comprende los medios A y B" no debería limitarse a los dispositivos que consisten solo en los componentes A y B. Significa que con respecto a  
50 la presente invención, los únicos componentes pertinentes del dispositivo son A y B.

Además, las referencias en esta memoria descriptiva a "una realización " significa que una función, estructura o característica particular descrita en relación con la realización se incluye en, al menos, un ejemplo de la presente invención. Así, cuando aparecen frases como "en una realización" en diversos lugares de esta memoria descriptiva, no se refieren todas necesariamente a la misma realización, pero pueden. Además, las funciones, estructuras o características particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada, como sería evidente para una persona con experiencia ordinaria en la técnica de esta divulgación, en una o más realizaciones.

De manera similar, debe tener en cuenta que, en la descripción de las realizaciones ejemplares de la invención, varias características de la invención a veces se agrupan en una única realización, figura o descripción de la misma con el fin de simplificar la divulgación y ayudar en la comprensión de uno o más de los diversos aspectos de la invención. De manera similar, este procedimiento de divulgación no debe interpretarse como si reflejara la intención que la invención reivindicada requiriese más características que las que se mencionan expresamente en cada reivindicación. Más bien, como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos de la invención residen en menos de todas las características de una única realización descrita anteriormente. Por lo tanto, las reivindicaciones que siguen a la descripción detallada se incorporan expresamente en esta descripción detallada, con cada reivindicación valiéndose por sí misma como una realización separada de esta invención.

Además, aunque algunas realizaciones descritas en el presente documento incluyen algunas pero no otras características incluidas en otras realizaciones, se pretende que las combinaciones de las características de diferentes realizaciones estén dentro del alcance de la invención, y formen realizaciones distintas, como entenderán las personas con experiencia ordinaria en la técnica. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, cualquiera de las realizaciones reivindicadas puede utilizarse en cualquier combinación.

En la descripción proporcionada en la presente memoria, se exponen numerosos detalles concretos. Sin embargo, se entiende que las realizaciones de la invención pueden ponerse en práctica sin estos detalles concretos. En otros casos, los procedimientos, estructuras y técnicas bien conocidos no se han mostrado en detalle para no oscurecer la comprensión de esta descripción.

En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un sensor basado en sónar para la localización de un blanco en el aire. Por lo tanto, el sensor es un sensor basado en sónar en el aire para detectar en el aire. Las realizaciones de la presente invención pueden usarse ventajosamente en numerosas aplicaciones, tales como, entre otras, para sistemas de evitación de obstáculos, por ejemplo, basadas en técnicas de campo potencial, para sillas de ruedas electrónicas, como por ejemplo, un sistema de sónar 3D barato y robusto puede ser una valiosa incorporación a los sistemas basados en visión como una estimación independiente del movimiento del robot en sistemas SLAM utilizando, por ejemplo, el sistema como módulo de odometría acústica, ... cada vez se traduce en una mejora significativa del rendimiento del sistema.

A modo de ilustración, las realizaciones de la presente invención no están así limitadas, los componentes estándar y opcionales de un sensor según las realizaciones de la presente invención se representan esquemáticamente en relación con la FIG. 1.

El sensor 100 según realizaciones de la presente invención comprende un emisor de banda ancha o ultraancha 110 que puede ser parte de un subsistema emisor 120. El emisor de banda ancha o ultraancha 110 está adaptado para emitir una señal de banda ancha o ultraancha. En aplicaciones de sónar, el emisor típicamente puede ser un emisor de sonido. Un ejemplo de un emisor de ondas de radio que típicamente se utiliza puede ser una antena. Un ejemplo de un emisor de sonido que se puede utilizar puede ser un emisor Polaroid. Con una señal de banda ancha o ultraancha, una señal puede significar que tiene un ancho de banda que abarca al menos una octava, ventajosamente al menos dos octavas, más ventajosamente más octavas. Así la señal de banda ancha o ultraancha puede abarcar varias octavas. En un ejemplo particular para una aplicación de sónar, el ancho de banda cubierto puede ser de 20-80 khz. Según al menos alguna realización de la presente invención, solo se utiliza un único emisor. Según algunas realizaciones de la presente invención, el sensor solo comprende un único emisor. El emisor está adaptado para emitir una señal de sónar adecuada para funcionar en el aire. El subsistema emisor 120 puede comprender otros componentes electrónicos que permiten que se pueda generar la señal de banda ancha o ultraancha. Dichos componentes electrónicos pueden comprender, por ejemplo, donde las realizaciones que no se limitan a ello, un convertidor digital a analógico, un amplificador, por ejemplo, un amplificador de alta tensión, etc. El emisor 110, que también forma parte del subsistema emisor 120, puede ser un transductor que convierte la señal en una señal adecuada para ser emitida por el emisor, etc. A modo de ilustración, en un ejemplo, el subsistema emisor 120 puede comprender un puerto de entrada que recibe una señal digital en comunicación con un convertidor digital a analógico para convertir la señal digital en una señal analógica. El subsistema emisor 120 puede comprender además un amplificador de alta tensión para amplificar la señal analógica recibida desde el convertidor. Posteriormente, la señal amplificada se puede proporcionar a un transductor, por ejemplo, un transductor Polaroid, para emitir la señal de banda ancha.

El sensor comprende además un conjunto de receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente 130 que reciben la señal de banda ancha o ultraancha después de su reflexión en el blanco. Los receptores 130 típicamente pueden ser parte de un subsistema receptor 140. El tipo de receptores 130 utilizados puede depender de la tecnología utilizada. En aplicaciones de sónar, los receptores 130 pueden ser micrófonos, como, por ejemplo,

micrófonos ultrasónicos, aunque las realizaciones de la presente invención no están limitadas a los mismos. Como también se ha indicado anteriormente, ventajosamente la señal es de banda ancha y puede abarcar al menos una octava, ventajosamente dos octavas, ventajosamente más de dos octavas.

5 Según realizaciones de la presente invención, los receptores 130 están colocados o distribuidos aleatoriamente o irregularmente. De forma alternativa, los receptores 130 también podrían ser una selección aleatoria o irregular limitada de entre un conjunto de receptores, por lo que el conjunto completo de receptores forma un patrón. Con la distribución aleatoria o irregular se entiende que los receptores utilizados se producen sin patrón. Los receptores pueden no producirse en una matriz completamente estructurada.

10 El número de receptores 130 que se incluye en el sensor 100 o que se utiliza activamente puede depender de la relación pico/lóbulo lateral deseada. Durante la configuración o la construcción, el número de receptores 130 se puede ajustar en función de la relación pico/lóbulo lateral deseada. El número de receptores 130 incluidos o utilizados activamente durante la detección puede considerarse disperso, también denominado como esparcido o distribuido. La densidad del receptor puede ser, por ejemplo, menor que 0,5 receptores/  $\lambda_{m\acute{a}x}^2$ , por ejemplo, entre 0,2 y 0,05 receptores/  $\lambda_{m\acute{a}x}^2$ , aunque las realizaciones de la presente invención no están limitadas a la misma por lo que  
 15  $\lambda_{m\acute{a}x}$  es la longitud de onda máxima en la señal de banda ancha o ultraancha. En un ejemplo, la densidad de los receptores utilizados puede ser de 0,1 receptores/  $\lambda_{m\acute{a}x}^2$ , por ejemplo, para aplicaciones de sónar en el aire, la densidad puede estar entre 300 y 500 receptores/m<sup>2</sup>, por ejemplo, unos 450 receptores/m<sup>2</sup>. El esparcimiento de los receptores 130, por ejemplo, expresada como la distancia máxima entre los receptores en dirección horizontal y vertical, definirá el tamaño de apertura del conjunto de receptores 130, que afectará a la anchura del lóbulo principal.  
 20 El tamaño de la apertura puede ajustarse, por ejemplo, durante la configuración o durante la fabricación del sensor, para obtener una anchura predeterminada del lóbulo principal en la señal detectada.

Los receptores 130 pueden producirse en algunas realizaciones en una configuración fija. Los receptores pueden estar integrados o fijados a una estructura fija, de manera que se obtenga un sensor rígido. El emisor también se puede fijar a la estructura fija. Dicha estructura fija puede ser una placa, por ejemplo, una placa no flexible, aunque  
 25 también se pueden utilizar otros tipos de estructuras.

Como se ha indicado anteriormente, los receptores 130 típicamente pueden ser parte de un subsistema receptor 140. Dicho subsistema receptor 140 puede comprender, además de los receptores 130, también amplificadores que amplifican las señales detectadas. Además, también puede haber un convertidor analógico a digital para convertir las señales analógicas detectadas en señales digitales. De forma alternativa, los componentes ADC también pueden ser parte del procesador, en comunicación con el subsistema receptor.  
 30

Según realizaciones de la presente invención, el sensor 100 comprende además un procesador 150 para procesar las señales recibidas. El procesador 150 puede ser un procesador de hardware o un procesador de software que hace uso de la capacidad de procesamiento de un medio de computación. El procesamiento se puede realizar en un solo procesador o se puede aplicar un procesamiento dividido. En algunas realizaciones, parte del procesamiento de la señal se puede realizar en el procesador 150, mientras que otra parte del procesamiento de la señal se puede realizar en otro medio de computación. Según las realizaciones de la presente invención, el procesador 150 puede ser un subsistema digital. El procesador 150 puede comprender un medio de cálculo que comprende potencia de procesamiento, por ejemplo una placa FPGA, un componente de memoria como, por ejemplo, un componente SRAM, y una salida o interfaz que conecta el procesador con un procesador adicional o con un medio de salida. La salida o la interfaz pueden ser cualquier tipo de medio de interconexión, como por ejemplo un conector USB, aunque las realizaciones no están limitadas a ello.  
 35

En algunas realizaciones, el procesador 150 puede programarse para recibir las señales de receptor, opcionalmente después de amplificar y convertirse en una señal digital. Además, el procesador 150 puede programarse para aplicar un filtro coincidente y más filtrados utilizando un banco de conformadores de haz, generando de este modo filtros espaciales en todas las direcciones de interés. En un ejemplo, la salida de cada uno de los conformadores de haz puede pasar a través de un detector de envolvente. De esta manera, se aplica un conjunto de filtros de paso de banda espaciales. El banco de conformadores de haz puede proporcionar la funcionalidad de retrasar la señal una cantidad adecuada y pesar las señales según los pesos generados por una función de pesos. A modo de ilustración, donde las realizaciones de la presente invención no se limitan a las mismas, se muestra un ejemplo de un sistema de procesamiento y los componentes del mismo en la FIG. 5. La salida de dicho sistema se corresponde con una única señal de un receptor virtual con una direccionalidad arbitraria.  
 45

El procesamiento puede permitir obtener una localización de(los) objeto(s) que refleja la radiación emitida, la determinación de la posición tridimensional. El procesador puede adaptarse para proporcionar un ángulo de acimut y un ángulo de elevación, así como una distancia, determinando de este modo la posición tridimensional completa. En algunas realizaciones, también se puede utilizar un medio de procesamiento adicional, como, por ejemplo, un ordenador para proporcionar potencia de procesamiento y memoria para ejecutar las tareas de procesamiento.  
 50

El procesador también puede comprender un controlador 160 o se puede proporcionar un controlador 160 separado. El controlador 160 puede adaptarse para controlar la emisión de una o más señales de banda ancha o ultraancha mediante el emisor 110 o el subsistema emisor 120 y para controlar la detección mediante los receptores 130 o el  
 55

subsistema receptor 140. El controlador puede proporcionar información de temporización al subsistema emisor y al subsistema receptor para sincronizar la emisión y la detección de señales. Además, el controlador puede adaptarse para controlar el procesamiento en función de las señales detectadas.

5 El sensor 100 también puede comprender un medio de salida 170. Dicho medio de salida 170 puede ser cualquier medio de salida 170 adecuado. Puede ser, por ejemplo, un puerto de salida, un medio de visualización, una impresora/trazador de gráficos, una línea de transmisión de datos, una memoria desde donde se pueden leer los resultados, etc. El medio de salida puede ser parte del procesador u obtener la información que se va a emitir desde el procesador.

10 Según una realización particular de la presente invención, la salida se puede realizar utilizando una métrica en particular conocida como Energy Scape y que representa la distribución espacial de los reflectores por medio de la cantidad de energía que los reflectores reflejan en el sensor. Otras características y ventajas de la métrica se describen más detalladamente en el ejemplo que se proporciona a continuación.

15 Se entenderá que la realización de la presente invención no está limitada a los componentes opcionales, como se ha descrito anteriormente, y que se pueden añadir al sensor otros componentes opcionales conocidos por los expertos en la técnica.

20 Según un aspecto, la presente invención también se refiere a un procedimiento para localizar un blanco en el aire basado en un sónar. El procedimiento se puede realizar de manera especialmente ventajosa utilizando un sistema como se ha descrito en relación con el primer aspecto, aunque las realizaciones de la presente invención no están limitadas al mismo. Según realizaciones de la presente invención, el procedimiento comprende obtener un conjunto de señales de receptor, recibidas en respuesta a una señal de banda ancha o ultraancha después de su reflexión en el blanco, utilizando un conjunto de receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente, y derivando una ubicación del objetivo en el aire según el conjunto de señales de receptor obtenidas. La obtención de un conjunto de señales de receptor puede, por lo tanto, obtener un conjunto de señales de receptor a partir de un conjunto de receptores distribuidos dispersamente.

25 A modo de ilustración, donde las realizaciones de la presente invención no se limitan a las mismas, se describe un procedimiento ejemplar que comprende etapas estándar y opcionales en relación con la FIG. 2.

30 El procedimiento 200 comprende obtener 220 un conjunto de señales de receptor, recibidas en respuesta a una señal de banda ancha o ultraancha después de su reflexión en el blanco, utilizando un conjunto de receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente. De este modo, los receptores pueden controlarse para detectar en respuesta a una señal de banda ancha o de banda ultraancha, y la acción de recepción de los receptores puede ser parte del procedimiento. De forma alternativa, obtener las señales también puede referirse a la acción de obtener datos del conjunto de receptores. En algunas realizaciones, el control de los receptores para la detección también puede ser parte del procedimiento. Dicho control puede, por ejemplo, basarse o desencadenarse mediante la generación de una señal de banda ancha o ultraancha. La etapa de generación 210 de una señal de banda ancha o ultraancha puede ser parte del procedimiento 200, aunque las realizaciones de la presente invención no están restringidas a ello.

35 El procedimiento 200 además comprende derivar 230 una ubicación del(de los) blanco(s) basándose en el conjunto obtenido de señales de receptor. La derivación 230 de una ubicación del(de los) blanco(s) puede determinar una posición tridimensional del blanco, por ejemplo, construida desde una distancia, elevación y ángulo de acimut. Según algunas realizaciones particulares, derivar 230 una ubicación de los blancos puede comprender un filtrado coincidente 232. Dicho filtrado coincidente puede comprender, por ejemplo, aplicar un filtro de transformada de Fourier a la señal recibida y a la señal emitida originalmente, aunque también podrían aplicarse otros tipos de filtros coincidentes. Una vez realizado el filtrado coincidente, la derivación puede comprender la implementación de un filtrado de paso de banda espacial 234. En algunas realizaciones, dicho filtrado de paso de banda espacial puede realizarse aplicando un procedimiento de conformación de haz. Dicho procedimiento de conformación de haz puede realizarse retrasando cada señal una cantidad adecuada, pesando según los pesos generados por una función de pesos y sumando las señales, aunque también se pueden utilizar otros algoritmos de conformación de haz. En una etapa adicional, después de la conformación de haz, se extrae la señal envolvente. La extracción de la envolvente de la señal 236 se puede realizar, por ejemplo, utilizando la magnitud de la transformada de Hilbert de la señal sumada obtenida por conformación de haz, por ejemplo, aplicando la rectificación de media onda y el filtrado de paso bajo, etc. En una etapa adicional 238, la información relativa a los reflectores se extrae de la envolvente de la señal. Dicha extracción de información puede ser la extracción de, por ejemplo, la distribución del reflector en función del ángulo, la extracción de, por ejemplo, una distancia del reflector, por ejemplo, basada en el eje del tiempo, por ejemplo, la intensidad del reflector, ... La derivación 230 de una ubicación en el aire también puede comprender derivar la información utilizando una métrica particular con respecto a la posición de uno o más blancos, como por ejemplo una vista de la energía métrica tal como se describe en otra parte de esta solicitud.

Después de derivar 230 una ubicación en el aire de uno o más blancos, el procedimiento también puede comprender emitir 240 la información de la ubicación derivada. Dicha salida puede ser de cualquier forma adecuada. Además, la salida se puede proporcionar para cualquier aplicación adecuada.

Debe observarse que el procedimiento descrito anteriormente también puede comprender otras etapas del procedimiento, por ejemplo, la expresión de la funcionalidad de los componentes como se ha descrito en el primer aspecto, donde las realizaciones de la presente invención no están limitadas a ello.

5 En un aspecto adicional, la presente invención se refiere a un producto de programa informático que, cuando se ejecuta en un medio de procesamiento, por ejemplo en un dispositivo según el primer aspecto de la invención, lleva a cabo uno de los procedimientos o parte de uno de los procedimientos según el segundo aspecto de la invención, así como a un sistema de procesamiento correspondiente. Dicho de otro modo, los procedimientos según las realizaciones de la presente invención pueden implementarse como procedimientos implementados por ordenador, por ejemplo, implementados de una manera basada en software. El sistema de procesamiento puede ser un procesador como se ha descrito en el primer aspecto. Un ejemplo de un sistema de procesamiento puede ser un sistema de procesamiento que incluye al menos un procesador programable acoplado a un subsistema de memoria que incluye al menos una forma de memoria, por ejemplo, RAM, ROM, etc. Se debe tener en cuenta que el procesador o los procesadores pueden ser de propósito general, o un procesador de propósito especial, y pueden ser para su inclusión en un dispositivo, por ejemplo, un chip que tiene otros componentes que realizan otras funciones. Por lo tanto, uno o más aspectos de las realizaciones de la presente invención pueden implementarse en circuitos electrónicos digitales, o en hardware informático, firmware, software o en combinaciones de ellos. El sistema de procesamiento puede incluir un subsistema de almacenamiento que tiene al menos una unidad de disco y/o unidad de CD-ROM y/o unidad de DVD. En algunas implementaciones, un sistema de pantalla, un teclado y un dispositivo apuntador pueden incluirse como parte de un subsistema de interfaz de usuario para permitir que un usuario introduzca la información manualmente. También se pueden incluir puertos de entrada y salida de datos. Se pueden incluir más elementos, como conexiones de red, interfaces a diversos dispositivos, etc. Los diversos elementos del sistema de procesamiento se pueden acoplar de varias maneras, incluido a través de un subsistema de bus, en el presente ejemplo por simplicidad de un solo bus, pero los expertos en la técnica entenderán que se incluye un sistema de al menos un bus. La memoria del subsistema de memoria puede contener en algún momento parte o la totalidad de un conjunto de instrucciones que cuando se ejecutan en el sistema de procesamiento implementan las etapas de las realizaciones del procedimiento descritas en la presente memoria.

En aspectos adicionales, la presente invención se refiere a un soporte de datos que almacena un producto de programa informático como se ha descrito anteriormente o a la transmisión del mismo a través de una red de área local o amplia. Dicho soporte de datos puede, por lo tanto, materializarse de forma tangible en un producto de programa informático como se ha descrito anteriormente. Por lo tanto, el medio portador puede llevar código legible por máquina para ser ejecutado por un procesador programable. La presente invención se refiere así a un medio portador que transporta un producto de programa informático que, cuando se ejecuta en medios informáticos, proporciona instrucciones para ejecutar cualquiera de los procedimientos descritos anteriormente o ejecuta la función de filtrado del filtro descrito anteriormente. El término "medio legible por ordenador" tal como se utiliza en la presente memoria se refiere a cualquier medio que participa a la hora de proporcionar instrucciones al procesador para su ejecución. Dicho medio puede adoptar cualquier forma, incluidas, entre otros, medios no volátiles, medios volátiles y medios de transmisión. Los medios no volátiles incluyen, por ejemplo, discos ópticos o magnéticos, como el dispositivo de almacenamiento, que es parte de almacenamiento masivo. Las formas comunes de medios legibles por ordenador incluyen, un CD-ROM, un DVD, un disco flexible o disquete, una cinta, un chip de memoria o un cartucho o cualquier otro medio desde el que pueda leer un ordenador. Diversas formas de medios legibles por ordenador pueden estar implicadas en el transporte de una o más secuencias de una o más instrucciones a un procesador para su ejecución. El producto de programa informático también se puede transmitir a través de una onda portadora en una red, por ejemplo, una LAN, una WAN o Internet. Los medios de transmisión pueden adoptar la forma de ondas acústicas o luminosas, como aquellas que se generan durante las comunicaciones de datos por ondas de radio o infrarrojos. Los medios de transmisión incluyen cables coaxiales, hilo de cobre y fibra óptica, incluyendo los hilos que comprenden un bus dentro de un ordenador.

50 Sin desear estar limitado por la teoría, los resultados ventajosos del sistema descrito anteriormente se pueden entender a partir de las consideraciones mencionadas a continuación. Los sistemas mencionados anteriormente se basan en una matriz de micrófonos ultrasónicos y un único emisor Polaroid. Según la teoría clásica de conformación de haz de matriz de banda estrecha, la frecuencia de señal máxima para cualquier matriz dada que pueda resolverse de manera inequívoca es igual a:

$$f_{\text{máx}} = \frac{v_s}{2d} \quad [1]$$

que es igual a:

$$d_{\text{máx}} = \frac{\lambda_{\text{mín}}}{2} \quad [2]$$

con  $v_s$  la velocidad de propagación del sonido,  $\lambda_{\min}$  la mínima longitud de onda de la señal y  $d$  el espaciado entre los elementos de la matriz. Las frecuencias superiores a  $f_{\max}$  provocarán ambigüedades en el resultado de la localización debido a los lóbulos de rejilla. Sin embargo, la anchura del lóbulo principal está inversamente correlacionado con el tamaño total de la apertura, ya que el patrón de direccionalidad de una matriz tiene una relación de transformada de Fourier 2D con la apertura de la matriz. Esto implica que, cuando solo se utiliza un número limitado de elementos de matriz, solo se pueden construir filtros espaciales con un lóbulo principal amplio (debido al tamaño limitado que puede tener la apertura). Esto no permite resolver múltiples reflectores espaciados muy juntos debido a la interferencia y las pérdidas de los filtros espaciales, similar a la interferencia del lóbulo lateral en la teoría de filtros coincidentes. Si uno permite frecuencias superiores  $f_{\max}$ , se producirán lóbulos de rejilla secundaria con la misma amplitud que el lóbulo principal. Para una topología de matriz dada, la posición de los lóbulos de rejilla, sin embargo, depende de la frecuencia de la señal, mientras que, con el procesamiento correcto, la posición del lóbulo principal permanece fija en la misma dirección. Este fenómeno puede ser explotado por un sistema de banda ancha con un intervalo de frecuencia que abarca varias octavas. Cuando solo se considera la energía de la señal recibida (y no la señal en cada frecuencia de manera independiente), tiene un patrón de direccionalidad que es la media de los patrones de direccionalidad individuales en las frecuencias individuales. La FIG. 3 muestra este fenómeno. La primera columna muestra los patrones de direccionalidad para una matriz densa que consiste en 16 elementos dispuestos en una configuración cuadrada. Se puede distinguir un solo lóbulo principal en los patrones de direccionalidad de hasta 80 khz, sin la aparición de lóbulos de rejilla. Además, el patrón de direccionalidad de la energía de la señal muestra un único lóbulo principal ancho con la ausencia de lóbulos de rejilla. La segunda columna muestra lo que sucede si se amplía la apertura de la matriz (en realidad, reduciendo  $f_{\max}$  para la matriz). Para todas las frecuencias, se producen lóbulos de rejilla que son igual de fuertes que el lóbulo principal. Además, el patrón de energía de la señal todavía contiene lóbulos de rejilla secundarios debido a la estructura regular de la matriz de sensores. La tercera columna muestra una serie de sensores distribuidos aleatoriamente o irregularmente. Los patrones de las frecuencias individuales muestran un lóbulo principal estrecho con lóbulos de rejilla que se producen en ubicaciones aleatorias (que naturalmente pueden relacionarse con las posiciones de los elementos de la matriz). Sin embargo, la energía de señal no contiene lóbulos de rejilla y solo un lóbulo principal estrecho, lo que da como resultado un filtro espacial muy estrecho para la señal de banda ancha con filtrado coincidente. Este filtro (es decir, la posición del lóbulo principal) se puede escanear tanto en el acimut como en la dirección de elevación de manera independiente, lo que permite estimar la energía de la señal que se origina desde cualquier posición arbitraria en el espacio.

A modo de ilustración, donde las realizaciones de la presente invención no están limitadas a las mismas, los resultados experimentales que ilustran las características y ventajas de las realizaciones particulares de la presente invención se analizan a continuación.

Los resultados experimentales se obtienen con un sensor que comprende una matriz de micrófonos ultrasónicos y un único emisor Polaroid. A modo de ilustración, en la FIG. 4 se ofrece una descripción general esquemática de los diferentes bloques que constituyen el sistema de matriz de sónar utilizado para obtener los resultados experimentales. El sistema consiste en un FPGA AlteraCyclone I, que se conecta a un ordenador a través de una interfaz FIFO FTDIUSB 2.0, que permite una velocidad de transferencia de datos máxima de 25 MByte/seg. Una interfaz MEX Matlab hecha a medida recopila los datos del bus USB y los presenta al módulo de procesamiento. Como búfer de datos, se conecta una SRAM al FPGA. Un DAC de 12 bits con una frecuencia de muestreo de 250 kps/seg se conecta a un amplificador de alta tensión hecho a medida que, a su vez, acciona un único transductor Polaroid. El receptor consta de una matriz hecha a medida de 32 micrófonos de condensador pequeños con un diámetro de solo 2,54 mm, lo que produce un receptor omnidireccional de las frecuencias de interés. Las señales de micrófono se amplifican utilizando un amplificador hecho a medida con un filtro anti-alias Butterworth de 6° orden a 150 khz. Las señales se digitalizan utilizando convertidores AD de 12 bits que funcionan a 500 khz. Un único emisor que consiste en un transductor Polaroid se acciona a través de un amplificador de alta tensión por un convertidor digital-analógico (DAC). Como señal emitida, se utiliza un barrido FM hiperbólico similar a un murciélago con una frecuencia de inicio de 100 khz y una frecuencia de parada de 20 khz. La amplitud se modula mediante una ventana de Hamming que impide efectos transitorios en los transductores y filtros analógicos.

Los resultados experimentales que se analizan a continuación se obtienen haciendo uso del siguiente procesamiento de señal de matriz. La matriz consiste en 32 micrófonos, cada uno de los cuales recibe una versión

de las señales de eco, indicada por  $s_i^M(t)$  con  $i = 1..32$ . Las señales recibidas se procesan utilizando un filtro coincidente:

$$s_i^M(t) = F^{-1} \{ S_i^M(j\omega) \cdot S_b^*(j\omega) \} \quad [3]$$

con  $S_i^M(j\omega)$  la transformada de Fourier ([51]) señal de micrófono  $i$ -ésimo  $s_i^M(t)$  y  $S_b^*(j\omega)$  la transformada de Fourier de la señal emitida (que es conocida aproximadamente para el sistema). Después del filtrado coincidente, el procedimiento de conformación de haz se lleva a cabo para implementar el filtrado de paso de banda espacial.

Como el sistema debe ser capaz de resolver blancos en 3D, deben considerarse dos ángulos diferentes: el ángulo de acimut ( $\vartheta$ ) y la elevación ( $\phi$ ). Estos dos ángulos se combinan en un vector de dirección llamado  $\psi = [\vartheta \ \phi]$ .

El procedimiento de conformación de haz se puede escribir como:

$$s_{\psi}^{BF}(t) = \sum_{i=1}^{32} w_i s_i^{MF}(t + \tau_i(\psi)) \quad [4]$$

- 5 con  $w_i$  el peso (un factor de escala) para micrófono  $i$ -ésimo,  $\tau_i(\psi)$  el retardo para el micrófono  $i$ -ésimo en la dirección, y  $s_i^{MF}$  la versión filtrada coincidente de la señal de micrófono  $i$ -ésimo.

Después de la conformación de haz, la envolvente de la señal se extrae utilizando la magnitud de la transformada de Hilbert

$$s_{\psi}^{EN}(t) = \left| H \left( s_{\psi}^{BF}(t) \right) \right| \quad [5]$$

- 10 o una aproximación de la misma con una demodulación AM simple mediante rectificación de media onda y filtrado de paso banda. La envolvente de la señal  $s_{\psi}^{EN}(t)$  ahora contiene información sobre la distribución del reflector en la dirección  $\psi$ , y el eje de tiempo proporciona información sobre el alcance del reflector. La intensidad del reflector se puede estimar debido al hecho de que se ha utilizado un filtro coincidente, ya que el máximo cuadrado de la salida del filtro coincidente es igual a la energía de la señal.

- 15 Para obtener una representación continua del entorno, se introduce una entidad llamada paisaje energético (ES). El paisaje energético representa la distribución espacial de los reflectores por medio de la cantidad de energía que los reflectores reflejan hacia el sensor. Esta etapa no necesita ninguna información a priori de la distribución y el tipo de reflectores. El paisaje energético puede estimarse concatenando las envolventes de las salidas de filtro coincidente  $s_{\psi}^{EN}(t)$  en todas las direcciones diferentes  $\psi$  que uno está interesado. En el caso más general, esto es una estructura 3D:

$$E(t, \psi) = \begin{bmatrix} s_{(\vartheta_1, \phi_1)}^{EN} & s_{(\vartheta_2, \phi_1)}^{EN} & \dots & s_{(\vartheta_n, \phi_1)}^{EN} \\ s_{(\vartheta_1, \phi_2)}^{EN} & s_{(\vartheta_2, \phi_2)}^{EN} & \dots & s_{(\vartheta_n, \phi_2)}^{EN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{(\vartheta_1, \phi_m)}^{EN} & s_{(\vartheta_2, \phi_m)}^{EN} & \dots & s_{(\vartheta_n, \phi_m)}^{EN} \end{bmatrix} \quad [6]$$

con  $n$  el número de direcciones de acimut deseadas y  $m$  el número de direcciones de elevación deseadas. Como la

- señal  $s_{(\vartheta, \phi)}^{EN}$  es un vector de muestras de tiempo (intervalo), el paisaje energético  $E(t, \psi)$  es una estructura 3D con la dimensión del tiempo (intervalo) como la tercera dimensión. Cabe destacar que  $E(t, \psi)$  debe muestrearse en un sistema de coordenadas esféricas en lugar de un sistema de coordenadas cartesianas. Con un muestreo de igual área para distribuir los puntos por igual en una esfera, se realiza un muestreo no uniforme en  $\vartheta$  y  $\phi$ , lo que alivia los cálculos necesarios espectacularmente. Por ejemplo, en los casos extremos para los ángulos de elevación  $+90^\circ$  y  $-90^\circ$ , todos los valores de acimut representan el mismo punto en el espacio (la parte superior e inferior de la esfera) y, por lo tanto, todos los cálculos producirán los mismos resultados. Por consiguiente es interesante muestrear adecuadamente la esfera.

Ya que visualizar estructuras 3D como  $E(t, \psi)$  es problemático, también se pueden realizar escaneados 2D del entorno (que son básicamente un subconjunto de la medición 3D completa). Por ejemplo, si se varía el ángulo de acimut  $\vartheta = -90^\circ \dots 90^\circ$  y se mantiene constante el ángulo de elevación ( $\phi = 0^\circ$ ), se obtiene la distribución de energía en el plano horizontal:

$$E(t, \vartheta) = \left[ s_{\vartheta_1}^{EN}(t) \quad s_{\vartheta_2}^{EN}(t) \quad \dots \quad s_{\vartheta_n}^{EN}(t) \right] \quad [7]$$

con  $n$  el número de direcciones de acimut  $\vartheta$ . De manera similar, un escaneado vertical en el plano medio del cerebro es:

$$E(t, \phi) = \left[ s_{\phi_1}^{EN}(t) \quad s_{\phi_2}^{EN}(t) \quad \dots \quad s_{\phi_n}^{EN}(t) \right] \quad [8]$$

Las consideraciones anteriores se tuvieron en cuenta a la hora de obtener los resultados experimentales descritos a continuación.

Con el fin de verificar la resolución angular del sistema, se ensonificó un único blanco esférico mediante un único sónar ping. La esfera se colgó delante de la matriz que se montó en un sistema de panorámica/inclinación automático. El sistema de panorámica/inclinación tiene dos grados de libertad, siendo el ángulo de panorámica  $\alpha$  y el ángulo de inclinación  $\beta$ . Se tomó una panorámica con la matriz siendo  $\alpha = -60^\circ \dots 60^\circ$  y se inclinó siendo  $\beta = -28^\circ \dots 28^\circ$ . Como el eje de rotación de estos dos grados de libertad no se correspondía con el acimut real y los ángulos de elevación, se realizó una transformación geométrica para calcular el acimut y los ángulos de elevación para un cierto par  $\alpha, \beta$ . Esto produjo un intervalo de acimut de  $\vartheta = -60^\circ \dots 60^\circ$  y un intervalo de elevación de  $\phi = -30^\circ \dots 30^\circ$ . El sistema ensonificó la esfera y localizó la esfera mirando la primera gran mancha en el paisaje energético 3D. La FIG. 6 representa los errores durante la localización. El histograma de los errores muestra un pequeño sesgo, que se produce por las imperfecciones en la configuración experimental. Además, muestra que los errores de estimación de acimut se concentran en un intervalo de  $\pm 5^\circ$  y los errores de estimación de la elevación se concentran en un intervalo de  $\pm 5^\circ$ , lo que indica un alto grado exactitud del sistema de localización, en un campo de visión amplio.

A fin de cuantificar la resolución angular que presenta el sistema, se ha realizado un experimento que utiliza dos ecos de llegada simultáneos. A una distancia igual del sensor (80 cm), se han colocado dos polos idénticos como se muestra en la FIG. 7 (a). El ángulo interior ( $\gamma$ ) entre los dos polos se varió desde  $120^\circ$  a  $5^\circ$  en etapas de  $2,5^\circ$ . El paisaje energético de la escena se calculó en el plano horizontal y la respuesta a un intervalo constante de 80 cm se representó para todos los ángulos interiores en función del ángulo de acimut  $\vartheta$  en una escala logarítmica. Los resultados indican que dos reflectores a la misma distancia aún pueden identificarse como reflectores individuales en separaciones angulares tan pequeñas como  $5^\circ$ . La cantidad de separación angular se puede vincular directamente con la anchura del lóbulo principal de los filtros espaciales implementados por la matriz. De hecho, cuanto más ancho sea el lóbulo principal de los filtros espaciales, más pronto se fusionarán los dos reflectores en un único pico. Esta fusión se traduce en una pérdida de capacidad para distinguir los reflectores individuales. Esto es muy similar a lo que sucede cuando se utiliza un filtro coincidente para distinguir dos duplicados de una señal de tiempo: una vez que los lóbulos laterales de la función de autocorrelación del pulso emitido comienzan a superponerse, las señales individuales ya no pueden distinguirse. Cuanto mayor sea el contenido en frecuencia (es decir, el ancho de banda) de la señal emitida, más concentrada estará la energía de la señal alrededor de la dirección de la matriz (el lóbulo principal es más estrecho). Esto permite una formación de imágenes de mayor resolución de los blancos. La resolución del alcance del sistema se ha verificado colocando un polo estrecho delante del sistema a  $1,15\text{ m}$  ( $\vartheta = 0^\circ$ ,  $\phi = 0^\circ$ ), y un segundo polo justo detrás de él, como se representa en la FIG. 7 (c). La distancia entre los polos se varió de  $1\text{ m}$  a  $0,2\text{ m}$ . Después de tomar una instantánea de cada separación, se calculó el paisaje energético de la escena y las respuestas en la dirección hacia delante ( $\vartheta = 0^\circ$ ,  $\phi = 0^\circ$ ) se combinaron en una imagen y se trazaron. La FIG. 7 (d) muestra la imagen resultante en una escala logarítmica. Se puede ver una clara separación de los dos reflectores en todo el intervalo de separaciones. Una reflexión secundaria causada por la portapieza de la matriz puede observarse como débiles líneas secundarias en la imagen. Los detalles de la capacidad de distinguir entre dos reflectores se basan en la teoría clásica de filtros coincidentes, y no se analizarán en detalle en el trabajo actual.

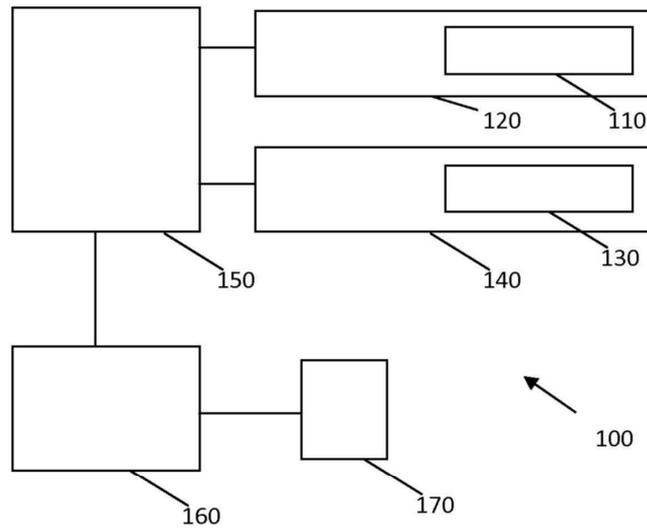
Debido a la naturaleza del sensor de sónar, ya que es capaz de resolver el alcance, el acimut y la elevación desde una única medición de manera continua en un amplio campo de visión, el sistema se puede utilizar para el cálculo de la odometría acústica análogo a los sistemas de odometría visual. Los sistemas de odometría visual estiman el movimiento de un agente móvil calculando las partes lineales y rotatorias de la velocidad del agente. De manera análoga a esta técnica, el sensor acústico se puede utilizar para estimar el componente lineal y rotatorio del movimiento de nuestro robot. El sistema se montó en un robot móvil que se movía en un entorno de oficina normal sin modificar, recopilaba instantáneas de sónar a una velocidad de 4 Hz y calculaba para cada instantánea el paisaje energético. Se correlacionan los dos paisajes energéticos consecutivos para encontrar el cambio relativo entre ellos, y se ubica el máximo del pico de correlación, dentro de una ventana alrededor del desplazamiento esperado derivado de los comandos del motor. La posición del pico de correlación máximo se perfecciona mediante un ajuste parabólico a los puntos alrededor del máximo y utilizando el máximo de la parábola ajustada en lugar del máximo inicial de la función de correlación. Este procedimiento de interpolación es ampliamente utilizado en las técnicas de visión. En una última etapa, las velocidades lineales y rotatorias de cada par de instantáneas se introducen en un algoritmo de integración de trayectoria, y las trayectorias resultantes se muestran en la FIG. 8. Se encontró que la trayectoria resultante era coherente durante el tiempo de la medición, y es una mejora de la estimación de trayectoria procedente de los comandos del motor. Esta es una buena indicación del resultado del sensor de matriz en entornos irreales y estructurados, ya que el robot puede rastrear objetos en el tiempo y reconstruir su propio movimiento a partir de estas mediciones.

Una ilustración de la exactitud con la que se puede obtener la detección se da para un sistema ejemplar en la FIG. 9. La FIG. 9 ilustra el error de ángulo interior en función del ángulo de apertura con respecto al emisor. Se puede ver que el error aumenta cuando aumenta el ángulo de apertura, pero que en todos los casos, el error en el ángulo es bastante limitado.

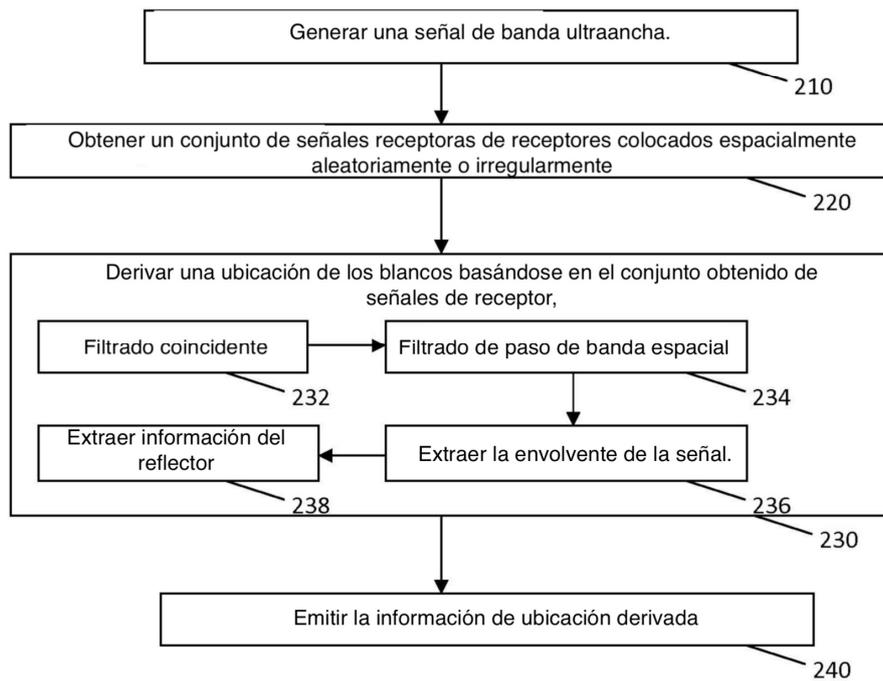
**REIVINDICACIONES**

1. Un sensor basado en sónar (100) adaptado para la localización de un blanco en el aire, el sensor (100) que comprende:
- 5 - un emisor de banda ancha o ultraancha (110) que emite una señal de banda ancha o ultraancha, y
- una matriz de receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente (130) que reciben la señal de banda ancha o ultraancha después de su reflexión en el blanco, caracterizada porque
- el emisor de banda ancha o ultraancha (110) está adaptado para emitir una señal de banda ancha o ultraancha y abarca un ancho de banda de al menos una octava, y
- 10 - un procesador para procesar las señales recibidas, aplicando así el filtrado de paso de banda espacial mediante el procesamiento de conformación de haz y extrayendo una envolvente de la señal para derivar la ubicación de un blanco.
2. Un sensor (100) según la reivindicación 1, en el que los receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente (130) están dispuestos espacialmente aleatoriamente o irregularmente en dos direcciones para permitir la localización tridimensional.
- 15 3. Un sensor (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente (130) están distribuidos de forma dispersa.
4. Un sensor (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la densidad de los receptores es menor que  $0,5 \text{ receptores}/\lambda_{\text{máx}}^2$ , por lo cual  $\lambda_{\text{máx}}$  es la longitud de onda máxima de la señal de banda ancha o
- 20 ultraancha.
5. Un sensor (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, el sensor (100) que además comprende un procesador (150) para procesar las señales recibidas, el procesador (150) que está adaptado para determinar un ángulo de acimut y un ángulo de elevación mediante
- la aplicación de un filtro coincidente, y
- 25 - la aplicación de un filtrado de paso de banda espacial.
6. Un sensor (100) según la reivindicación 5, en el que el procesador está adaptado para procesar el conjunto de señales de sensor en un campo de visión de hasta media esfera.
7. Un sensor (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la matriz de receptores está colocada en una configuración fija uno con respecto al otro.
- 30 8. Un sensor (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sensor (100) comprende solo un único emisor (110).
9. Un procesador (150) adaptado para procesar señales de sensor basadas en sónar que se originan a partir de una señal de banda ancha o ultraancha que tiene un ancho de banda que abarca al menos una octava, el sónar que está adaptado para la localización de un blanco en el aire, el procesador (150) que comprende:
- 35 - un medio de entrada adaptado para recibir señales de un conjunto de receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente después de la reflexión de dicha señal de banda ancha o ultraancha en un blanco,
- un medio de cálculo para calcular la ubicación de un blanco en el aire, el medio de cálculo que se adapta para calcularlo teniendo en cuenta un ángulo de acimut y un ángulo de elevación,
- 40 caracterizado porque el procesador está además adaptado para procesar las señales recibidas, aplicando así el filtrado de paso de banda espacial mediante el procesamiento de conformación de haz y extrayendo una envolvente de la señal para derivar la ubicación de un blanco.
10. Un procesador (150) según la reivindicación 9, en el que el medio de cálculo está adaptado para
- aplicar un filtro coincidente
- aplicar un filtrado de paso de banda espacial.
- 45 11. Un procedimiento (200) para ubicar un blanco en el aire basado en sónar, el procedimiento (200) que comprende:

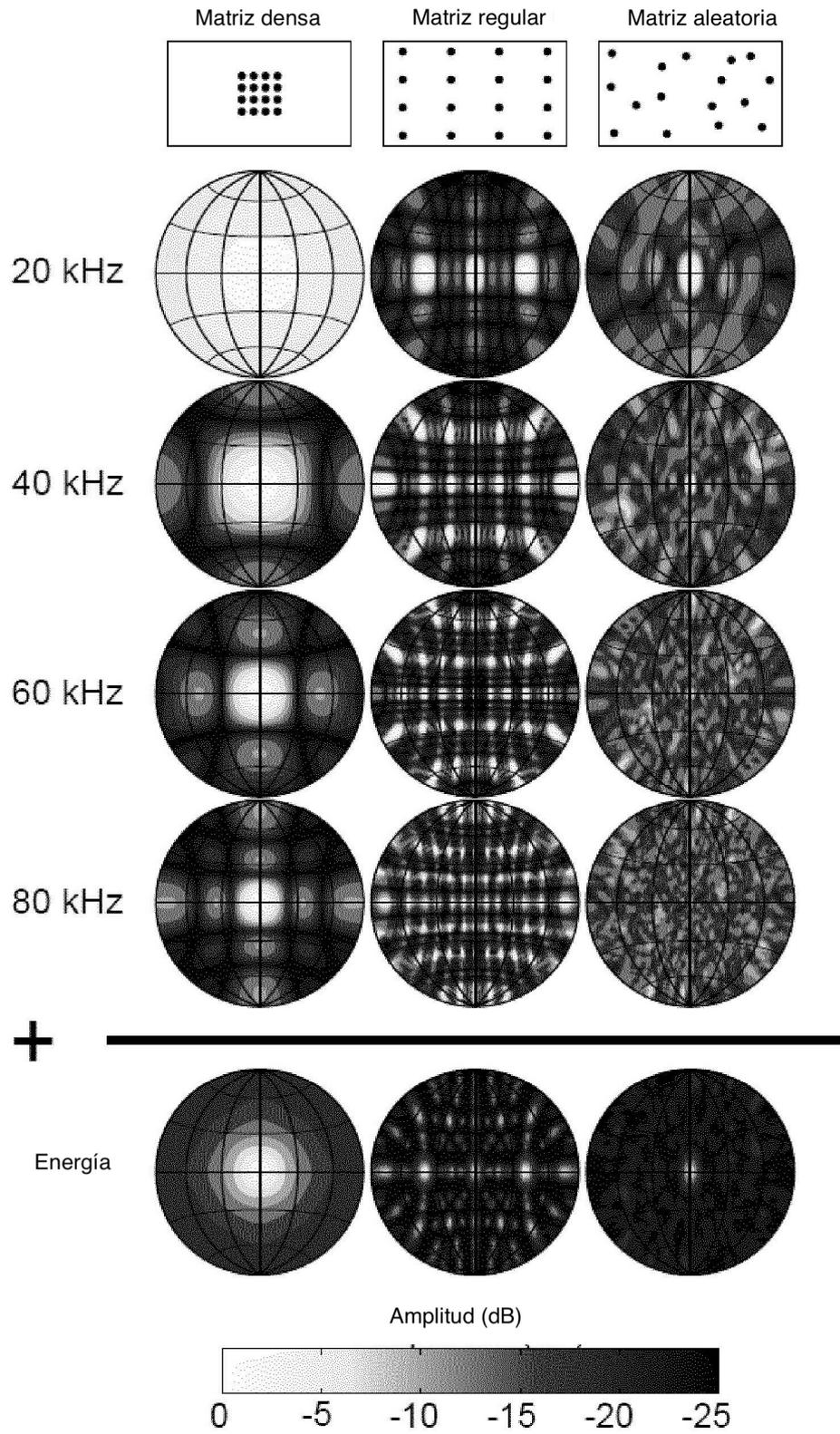
- generar y emitir una señal de banda ancha o ultraancha;
  - obtener (220) un conjunto de señales de sensor, recibidas en respuesta a la señal de banda ancha o ultraancha después de su reflexión en el blanco, utilizando una matriz de receptores colocados espacialmente aleatoriamente o irregularmente,
- 5 - derivar (230) una ubicación del blanco en el aire basándose en el conjunto obtenido de señales de sensor, caracterizada porque
- dicha generación y emisión comprende generar y emitir una señal de banda ancha o ultraancha que tiene un ancho de banda que abarca al menos una octava, y
- 10 dicha derivación de una ubicación del blanco comprende procesar las señales recibidas, aplicando así el filtrado de paso de banda espacial mediante el procesamiento de conformación de haz y extrayendo una envolvente de la señal.
12. Un procedimiento (200) según la reivindicación 11, en el que la derivación (230) comprende aplicar un filtro coincidente, aplicar un filtro de paso de banda espacial y extraer una envolvente de la señal.
- 15 13. Un producto de programa informático que comprende instrucciones que, cuando el programa se ejecuta en un medio de procesamiento, hace que el medio de procesamiento lleve a cabo uno de los procedimientos según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 12.
14. Un soporte de datos legible por ordenador que tiene almacenado en él un producto de programa informático según la reivindicación 13.
- 20 15. Uso de un sensor basado en sónar (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 para la navegación robótica en interiores.



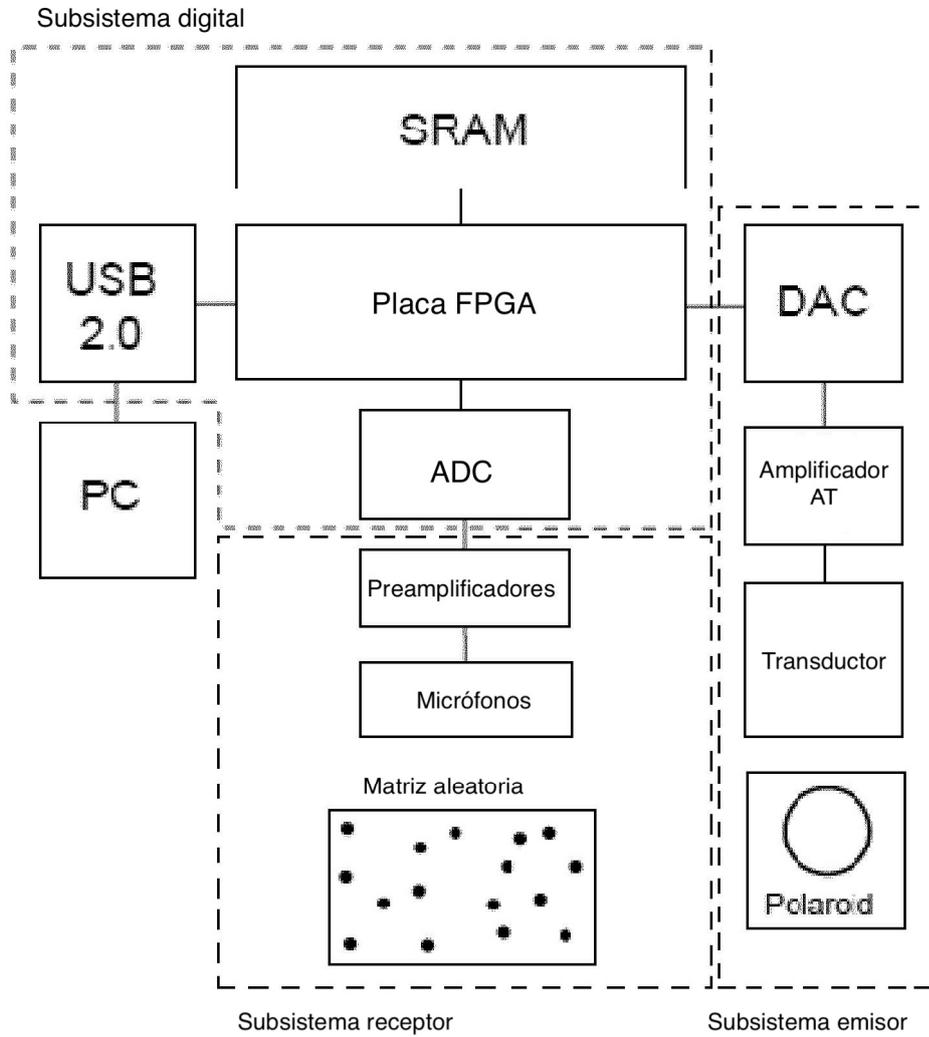
**FIG. 1**



**FIG. 2**

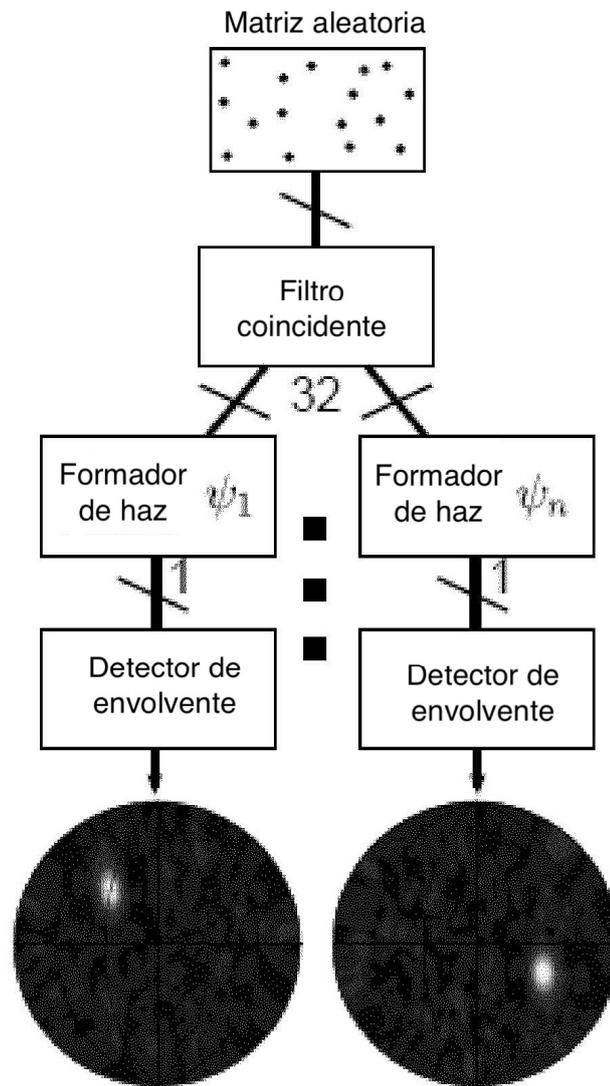


**FIG. 3**

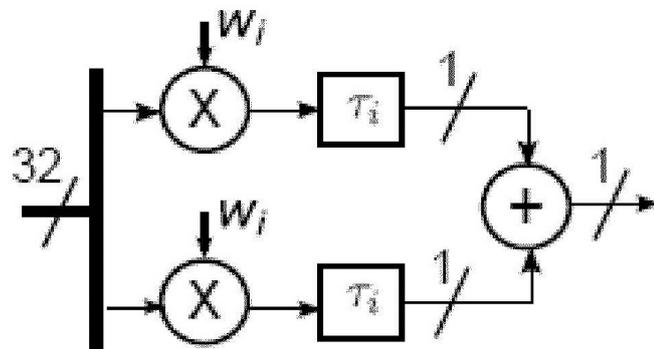


**FIG. 4**

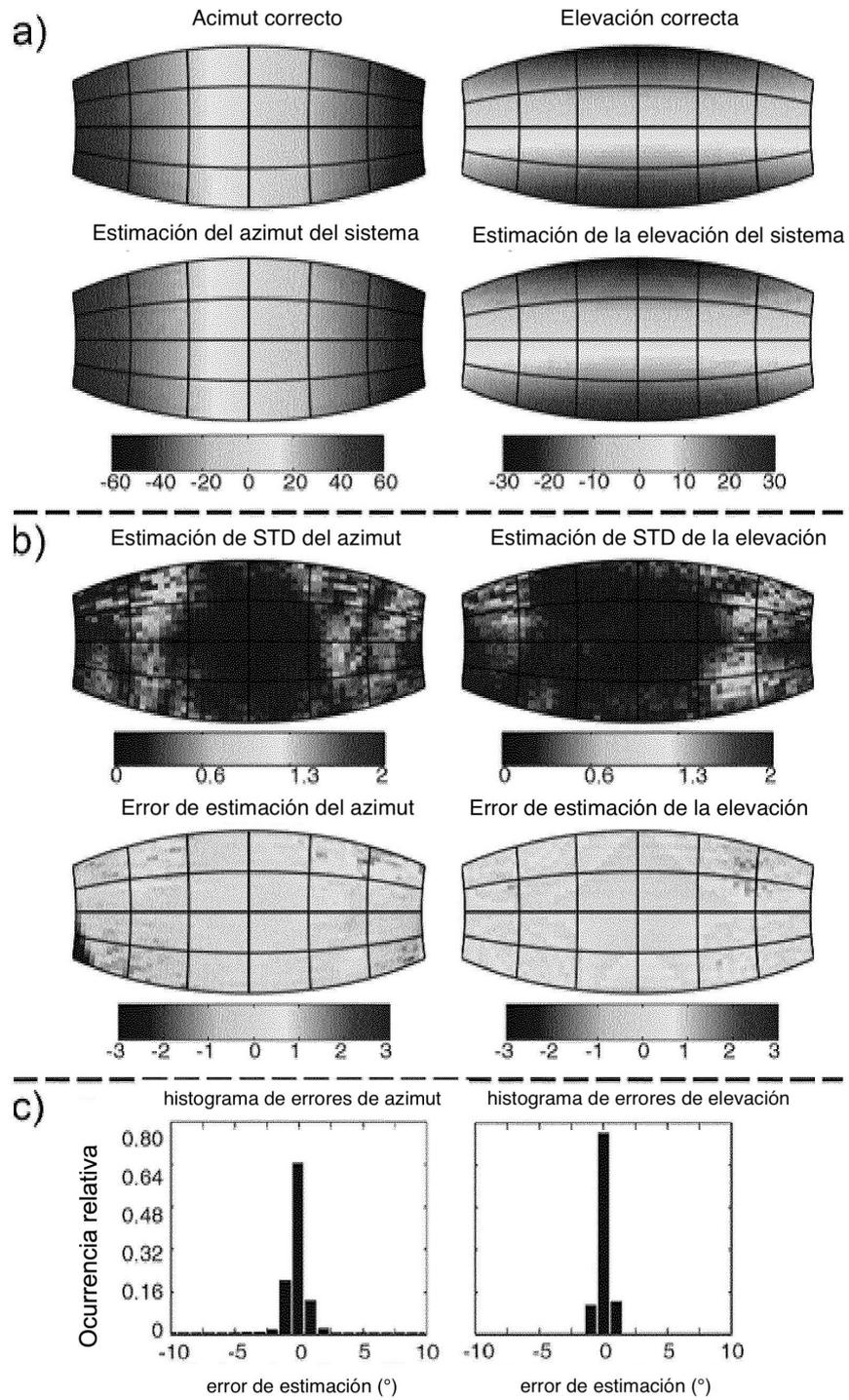
(a)



(b)



**FIG. 5**



**FIG. 6**

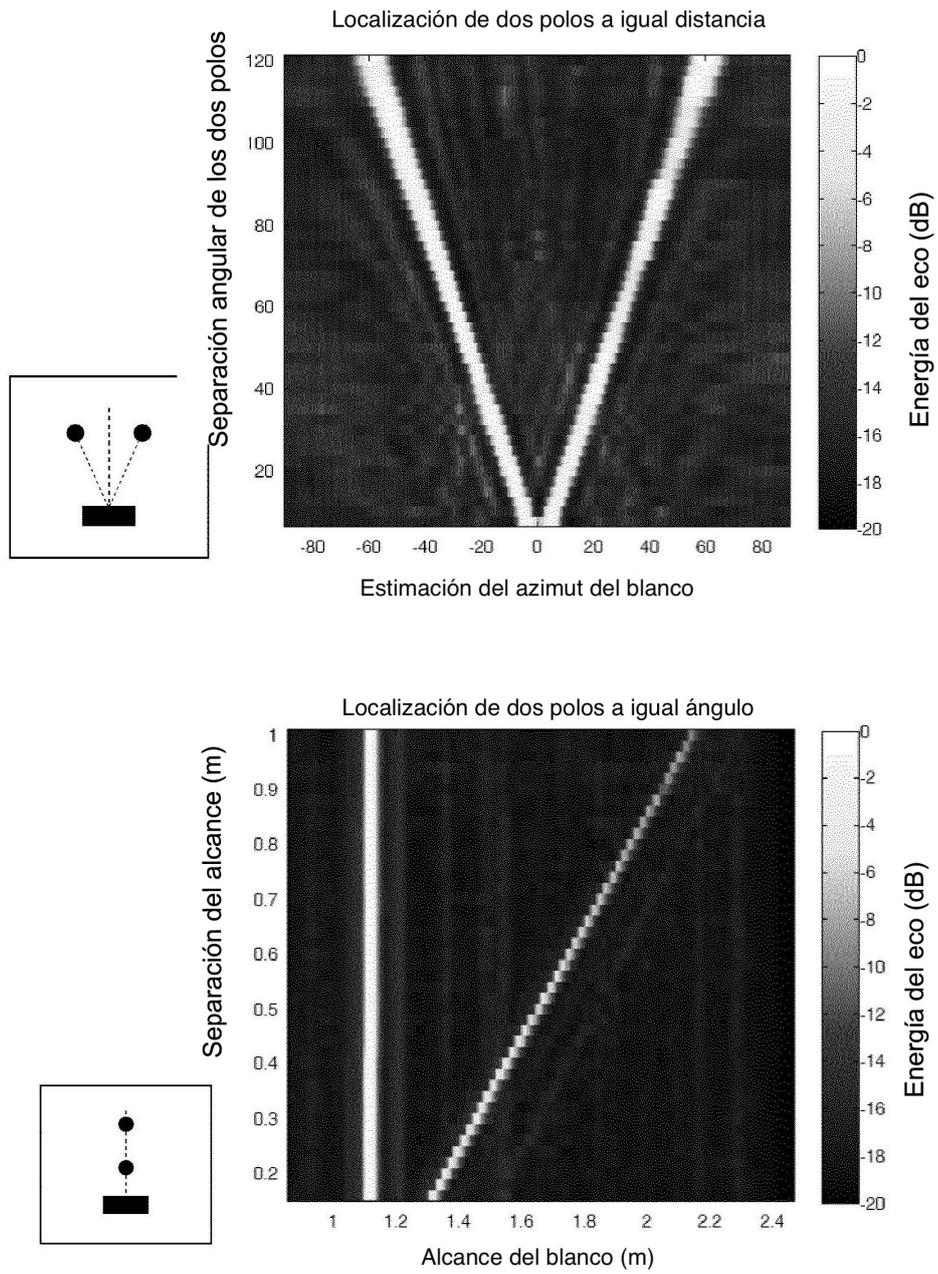


FIG. 7

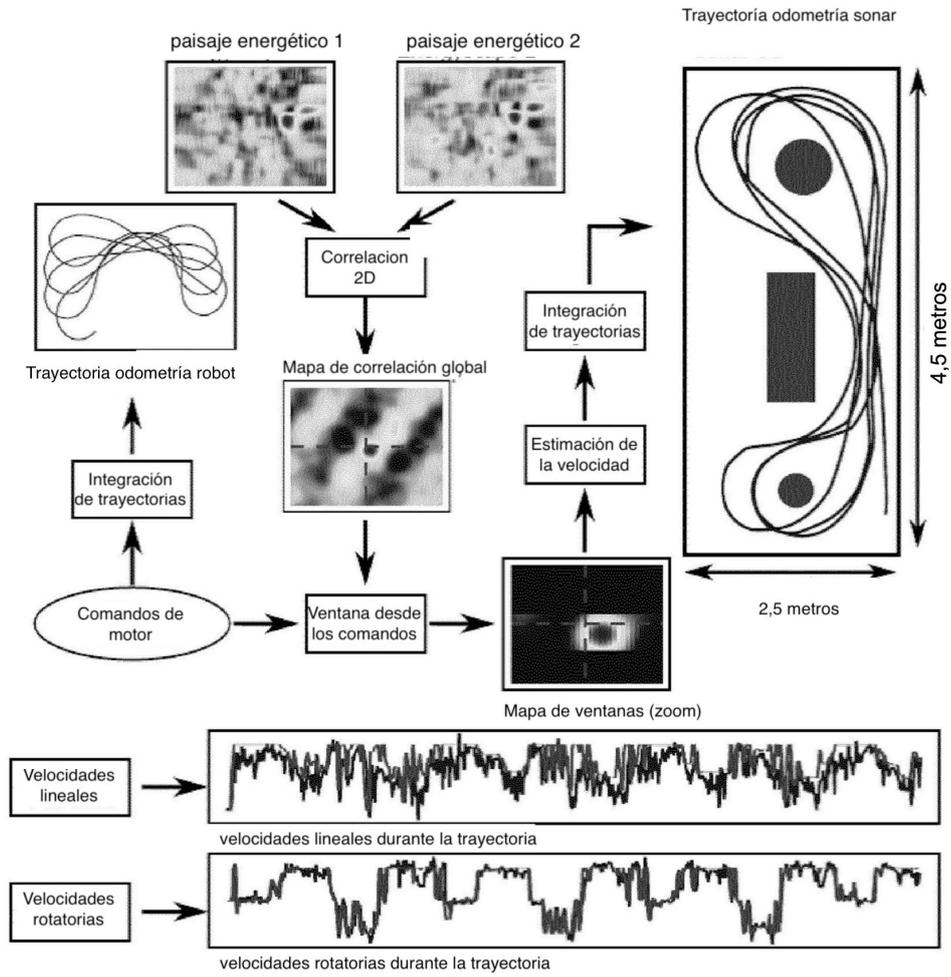


FIG. 8

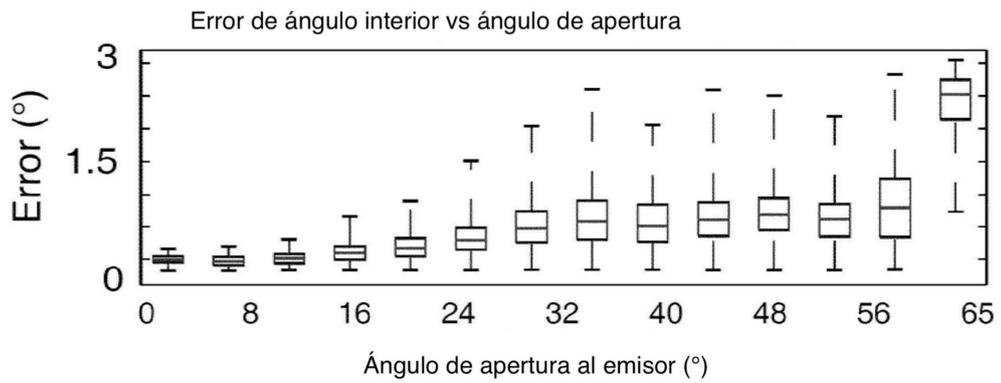


FIG. 9