

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad  
Intelectual  
Oficina internacional



(10) Número de Publicación Internacional  
**WO 2010/018282 A1**

(43) Fecha de publicación internacional  
18 de febrero de 2010 (18.02.2010)

(51) Clasificación Internacional de Patentes:  
G03B 42/06 (2006.01) G01S 15/89 (2006.01)  
G01S 7/52 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:  
PCT/ES2009/070303

(22) Fecha de presentación internacional:  
23 de julio de 2009 (23.07.2009)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:  
P200802402 8 de agosto de 2008 (08.08.2008) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):  
**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC)** [ES/ES];  
C/ Serrano, 117, E-28006 Madrid (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **FRITSCH YUSTA, Carlos** [ES/ES]; Instituto De Automática Industrial (IAI), Ctra. de Campo Real, Km. 0,200, La Poveda, E-28500 Arganda del Rey (Madrid) (ES). **PARRILLA ROMERO, Montserrat** [ES/ES]; Instituto De Automática Industrial (IAI), Ctra. de Campo Real, Km. 0,200, La Poveda, E-28500 Arganda del Rey

(Madrid) (ES). **CAMACHO SOSA DÍAS, Jorge** [UY/ES]; Instituto De Automática Industrial (IAI), Ctra. de Campo Real, Km. 0,200, La Poveda, E-28500 Arganda del Rey (Madrid) (ES).

(74) Mandatario: **PONS ARIÑO, Ángel**; Glorieta de Rubén Darío, 4, E-28010 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR CORRECTING ULTRASOUND IMAGES BY MEANS OF PHASE ANALYSIS

(54) Título: PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA LA CORRECCIÓN DE IMÁGENES ULTRASONICAS POR ANÁLISIS DE FASE

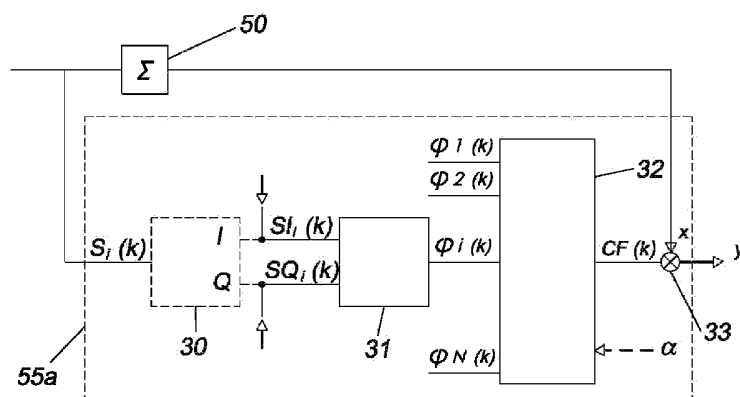


FIG. 3

(57) Abstract: The invention relates to a method and apparatus enabling the real-time correction and improvement of the quality of ultrasound images obtained using traditional methods. For this purpose, the invention consists of multiplying the formed samples by phase coherence factors ( $CF(\kappa)$ ) based on an analysis of the dispersion of the phases of the aperture data ( $S_i(\kappa)$ ).

(57) Resumen: El objeto de esta invención es un procedimiento y aparato que permiten corregir y mejorar en tiempo real la calidad de imágenes ultrasónicas obtenidas por métodos convencionales. Para ello, se multiplican las muestras conformadas por unos factores de coherencia de fase ( $CF(\kappa)$ ) basados en el análisis de la dispersión las fases de los datos de la apertura ( $S_i(\kappa)$ ).



WO 2010/018282 A1

**WO 2010/018282 A1**



---

SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, **Publicada:**  
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

## **PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA LA CORRECCIÓN DE IMÁGENES ULTRASÓNICAS POR ANÁLISIS DE FASE**

### **DESCRIPCIÓN**

5

#### **OBJETO DE LA INVENCION**

El objeto de esta invención es proporcionar un procedimiento para corregir y mejorar, en tiempo real, la calidad de las imágenes ultrasónicas obtenidas por métodos convencionales mediante conjuntos o arrays de elementos transductores y técnicas digitales de conformación de haces. Además, se describe también un aparato para llevar a cabo el procedimiento de la invención, y que se puede incorporar y adaptar fácilmente a conformadores de haz existentes.

15

#### **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Los sistemas de imágenes ultrasónicas convencionales se basan en un conjunto o array de  $N$  elementos transductores, normalmente piezoeléctricos, que emiten pulsos ultrasónicos en dirección al medio que se desea inspeccionar, donde el instante de emisión de los pulsos está temporizado de tal modo que los pulsos individuales se suman formando un haz ultrasónico. Una ley focal es el conjunto de retardos calculados para deflectar y enfocar el haz en una dirección y rango determinados en función de la geometría del array, del acoplamiento al medio a inspeccionar y de las velocidades de propagación del ultrasonido. Cambiando la ley focal se modifican la dirección y distancia focal del haz, lo que permite barrer la región de interés con focos situados a las mismas o a diferentes profundidades. Con arrays lineales el barrido es plano y, con los bidimensionales se puede realizar el barrido de un volumen.

30

En recepción, los ecos que llegan al array receptor (habitualmente el mismo que el emisor) como consecuencia de reflexiones en discontinuidades en el medio, son amplificados, digitalizados y retrasados individualmente para cada elemento  $i$  de los  $N$  del array receptor,  $1 \leq i \leq N$ ,  
5 obteniendo los datos de la apertura  $S_i(k)$ , donde  $k$  representa un índice en la señal de longitud  $L$  ( $1 \leq k \leq L$ ). La ley focal aplicada en recepción compensa las diferencias en el tiempo de vuelo del ultrasonido desde la emisión al foco y a cada elemento. Al sumar los  $N$  datos de la apertura (retrasados previamente), se producen interferencias constructivas si  
10 proceden del foco o destructivas si provienen de otras regiones, proceso que se denomina suma coherente. Los sistemas más avanzados varían dinámicamente la ley focal para que el foco se sitúe, en todo momento, sobre la posición que ocupa el pulso ultrasónico en su propagación por el medio, obteniendo así una imagen enfocada en toda su extensión (técnica  
15 de focalización dinámica).

Al visualizar la intensidad de las señales recibidas, la imagen muestra la amplitud de los reflectores en las posiciones que ocupan. El elemento que realiza la focalización de las señales recibidas se denomina  
20 conformador de haz. Métodos para la realización de conformadores con focalización dinámica se describen, por ejemplo, en C. Fritsch et al., "Composición coherente de señales por corrección focal progresiva", Pat. 2004/00203, 30 Ene. 2004, o en M. D. Poland, "Ultrasonic diagnostic imaging with automatic adjustment of beamforming parameters",  
25 US2007/0088213 A1, Apr. 19, 2007.

Es bien conocido (por ejemplo, G. S. Kino, "Acoustic waves: devices, imaging and analog signal processing", Prentice Hall Inc., 1987) que la calidad de las imágenes ultrasónicas obtenidas con un conformador  
30 de haz como el descrito está limitada, principalmente, por:

- a) La resolución lateral o capacidad para distinguir dos reflectores próximos entre sí.
- b) El rango dinámico o relación entre las señales de mayor y menor intensidad detectables sobre el ruido de fondo sin saturación que, a su vez, limita el contraste.
- c) La presencia de artefactos y, particularmente, de lóbulos de rejilla que aparecen cuando la distancia efectiva entre elementos es mayor que media longitud de onda. El límite de distancia entre elementos inferior a  $\lambda/2$  se supera frecuentemente con arrays bidimensionales, para mantener la complejidad electrónica en dimensiones razonables y también en aplicaciones de imagen para Evaluación No Destructiva (END).

15

Los lóbulos laterales y de rejilla deterioran significativamente la calidad de la imagen obtenida. Ambos producen indicaciones donde no existen reflectores, limitando el rango dinámico y el contraste de las imágenes. En particular, zonas anecoicas en las que no deben aparecer indicaciones, quedan contaminadas por las que corresponden a los lóbulos laterales o de rejilla de reflectores o dispersores cercanos.

20

25

Por su parte, la anchura del lóbulo principal en el patrón lateral del haz determina primariamente la resolución lateral de la imagen para señales intensas. Para las más débiles, la resolución lateral está determinada por la anchura de los lóbulos laterales a ambos lados del principal. Las técnicas de apodización uniformizan la resolución lateral, reduciendo la amplitud de los lóbulos laterales a expensas de ensanchar el lóbulo principal, con la consiguiente pérdida de resolución lateral para señales intensas.

30

- d) La aparición de aberraciones de fase, que se producen por las variaciones de velocidad de propagación ultrasónica en medios no homogéneos, provocando errores de focalización al modificar la trayectoria y/o el tiempo de vuelo del pulso ultrasónico. Estos errores de focalización, emborronan la imagen y provocan pérdidas de resolución y contraste.

Las tres primeras limitaciones son función de la geometría del array y de la longitud de onda. Así, durante mucho tiempo, se consideró que dichos límites no podían ser superados. Sin embargo, más recientemente, se han propuesto técnicas que permiten introducir correcciones en las imágenes obtenidas, con el objetivo de reducir o cancelar las indicaciones no deseadas en la imagen, producidas por lóbulos laterales o de rejilla, manteniendo o mejorando otros aspectos como la resolución lateral y la relación señal/ruido.

La idea generalmente seguida hasta ahora consiste en estimar un factor de coherencia indicativo de la calidad de la focalización para cada muestra  $k$  conformada. Una muestra conformada es el resultado de sumar las señales recibidas una vez focalizadas. Así, al aplicar el factor de coherencia a la salida del conformador, las muestras con un alto valor de coherencia se mantienen, mientras que se reducen las que presentan un bajo valor de coherencia.

En la propuesta original (K. W. Rigby, "Method and apparatus for coherence filtering of ultrasound images", US. Pat. 5.910.115, Jun. 8, 1999), para cada rango  $k$ , se calcula el factor de coherencia  $C(k)$  a partir de los datos de la apertura  $S_i(k)$ ,  $1 \leq i \leq N$ , como la relación entre el valor absoluto de la suma coherente y de la suma incoherente, esto es:

$$C(k) = \frac{\left| \sum_{i=1}^N S_i(k) \right|}{\sum_{i=1}^N |S_i(k)|} \quad (1)$$

Una variante (K. W. Hollman et al., "Coherence factor of speckle from a multi-row probe", Proc. IEEE Ultrasonic Symposium, pp. 1257-1260, 1999) es:

$$C(k) = \frac{\left| \sum_{i=1}^N S_i(k) \right|^2}{\sum_{i=1}^N |S_i(k)|^2} \quad (2)$$

donde se relacionan energías en lugar de amplitudes. Otra variante (A. L. Hall et al, "Method and apparatus for coherent imaging", US. Pat. 6.071240, 6 Jun. 2000) relaciona la suma coherente con la obtenida por un segundo conformador con retardos de focalización iguales a cero. En este caso, la coherencia aumenta con la disimilitud entre ambas magnitudes.

El factor de coherencia puede usarse para ajustar parámetros de emisión o recepción en un proceso iterativo y optimizar algún criterio de calidad (K. F. Ustuner et al., "Coherence Factor adaptive ultrasound imaging methods and systems", Pat. US2005/0228279, 13 Oct. 2005).

Otra variante es el factor de coherencia generalizado (P.C. Li, M. Li, "Adaptive Imaging using the Generalized Coherence Factor", IEEE Trans. Ultr., Ferroelec. and Freq. Contr., 50, 2, pp. 128-141, 2003) que se obtiene del espectro  $P(j,k)$  de los datos de la apertura:

$$GCF(k) = \frac{\sum_{j=-M}^M |P(j, k)|^2}{\sum_{j=1}^N |P(j, k)|^2} \quad (3)$$

donde el parámetro  $M \ll N$ , elige una banda de bajas frecuencias del espectro. Para  $M=0$  el resultado equivale al de la Ecuación (2). Para  $M>0$ ,  
 5  $GCF(k) \geq C(k)$ , con lo que disminuye la corrección de señales no coherentes, como son las indicaciones de los reflectores difusos.

Recientemente, se ha propuesto un método específico para suprimir las indicaciones de los lóbulos de rejilla (K. F. Ustuner et al., "Adaptive grating lobe suppression in ultrasound imaging", US Pat. 7207942 B2, 24  
 10 Abr. 2007). Utilizando técnicas de correlación cruzada, el método determina si una indicación procede del foco o de un lóbulo de rejilla, filtrando los datos de la apertura o el resultado de la suma coherente en función del resultado.

15

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

En el presente documento, el término "datos de la apertura" hace referencia a las señales recibidas por los transductores, una vez  
 20 amplificadas, digitalizadas y temporalmente retardadas (focalizadas), según se ha definido más arriba en el presente documento. Los datos de la apertura, a continuación, se suman para obtener un solo valor, que se denominará "muestra conformada". El elemento que realiza, al menos, la focalización de las señales recibidas y la posterior suma de los datos de  
 25 apertura es un "conformador de haz".

Los procedimientos de mejora de calidad de imágenes de las técnicas anteriores se basan en ponderar la muestra conformada



utilizando factores de coherencia obtenidos a partir de relaciones de amplitud de los datos de la apertura, sin considerar explícitamente la importante información de fase contenida en las señales. Por eso fallan en la cancelación o reducción de los lóbulos de rejilla, donde las amplitudes de las sumas coherente e incoherente son similares, produciendo un factor de coherencia próximo a la unidad que deja prácticamente invariable la muestra conformada y, por tanto, mantiene las falsas indicaciones de los lóbulos de rejilla.

La presente invención, en cambio, supera estas limitaciones de los procedimientos convencionales mediante el análisis de la variabilidad de las fases en los datos de la apertura, evaluando un factor de coherencia de fase con valores entre 0 y 1. Por tanto, a partir de las fases de los datos de la apertura se calcula un factor de coherencia de fase que es independiente de la amplitud de las señales. Así, mientras que la relación de amplitudes de otras aproximaciones produce factores de coherencia cuyos valores son del orden del cociente entre la amplitud del lóbulo lateral y el lóbulo principal, el procedimiento de la invención produce factores de coherencia de fase de valores inferiores, consiguiendo así una cancelación más efectiva de los datos incoherentes.

Este nuevo procedimiento mejora la calidad de las imágenes obtenidas por un sistema de imágenes ultrasónicas en todos los aspectos definidos anteriormente. Es decir, se consigue reducir los lóbulos laterales, los lóbulos de rejilla, los efectos de las aberraciones de fase y se estrecha el lóbulo principal para mejorar la resolución lateral, contraste y rango dinámico de la imagen y la relación señal-ruido.

Además, el método propuesto en esta invención permite ajustar el nivel de la corrección, bien automáticamente o bien por parte del operador del sistema, pudiendo llegar en el límite a anular todas las indicaciones de

los lóbulos laterales y reducir la anchura del lóbulo principal, con el consiguiente aumento de la resolución lateral y del contraste.

Por tanto, de acuerdo con un primer aspecto de la invención, se describe un procedimiento para la corrección de imágenes ultrasónicas, caracterizado porque comprende la operación de multiplicar la muestra conformada por un factor de coherencia de fase basado en la dispersión de las fases de los datos de la apertura.

El término “dispersión de las fases”, en el presente documento, hace referencia al grado de diversidad de las fases de las señales que conforman los datos de la apertura. Por ejemplo, una dispersión de las fases baja corresponde a un conjunto de señales que están todas en fase o casi en fase o, en otros términos, que posee una elevada similitud de fases. Por consiguiente, los términos “dispersión” y “similitud” de fases están en relación inversa. Del mismo modo, diremos que un conjunto de señales poseen una elevada “coherencia de fase” si la dispersión de sus fases es baja o, equivalentemente, si su similitud es elevada. Es necesario remarcar que el término “dispersión”, en este contexto, pretende hacer referencia a cualquier parámetro que refleje la distribución de las fases, sin quedar necesariamente limitado a los parámetros que comúnmente se conocen como “dispersión” en el campo de la estadística. Como se describirá posteriormente en el presente documento, existen diferentes modos de cuantificar la dispersión de las fases que corresponden a diferentes realizaciones preferidas de la invención.

Por tanto, del análisis de la dispersión de las fases de las señales de eco recibidas por los diferentes elementos del array, una vez amplificadas, digitalizadas, y retrasadas para crear un foco en una dirección  $\theta_0$  y una profundidad  $r_k$  determinadas, se obtiene el *factor de coherencia de fase*,  $CF(k)$ , con un valor comprendido entre 0 y 1 para cada

rango  $k$ ,  $1 \leq k \leq L$ . Un valor elevado del factor de coherencia de fase (próximo a 1) significa que los retardos aplicados han compensado correctamente las diferencias en tiempo de vuelo a cada elemento y, por tanto, proceden del foco. Un valor reducido del factor de coherencia de fase (próximo a 0) significa que los retardos aplicados no han compensado debidamente las diferencias en los tiempos de vuelo y, consecuentemente, las señales no proceden del foco. El factor de coherencia de fase se utiliza para ponderar el resultado de la muestra conformada según la siguiente expresión:

10

$$y(k) = CF(k) \cdot x(k) = CF(k) \sum_{i=1}^N S_i(k) \quad (4)$$

de forma que, cuando  $CF(k) \approx 1$ , la el resultado  $y(k)$  de la ponderación será básicamente igual a la simple suma  $x(k)$  de los datos de la apertura, mientras que, cuando  $CF(k) \approx 0$ , la salida  $y(k)$  tenderá a cero, limitando significativamente la amplitud correspondiente a muestras conformadas con una baja coherencia.

De este modo, el procedimiento propuesto en esta invención reconoce la procedencia de las señales y actúa para corregir los efectos no deseados en la imagen o para mejorar su calidad.

Así, un reflector situado en la dirección central del lóbulo principal produce señales en fase, con lo que la suma es constructiva y da lugar al máximo de amplitud en el patrón lateral del haz. En estas condiciones, el factor de coherencia de fase  $CF(k)$  es máximo, con un valor unitario (dispersión de fases nula).

Sin embargo, al desplazarse el reflector lateralmente dentro del lóbulo principal, algunas señales dejan de estar en fase. Al aumentar la

disparidad de las fases, se reduce el factor de coherencia de fase  $CF(k)$ . De esta forma, al realizar la corrección de la suma de los datos de la apertura por aplicación de (4), se reduce la anchura del lóbulo principal y, por consiguiente, mejora la resolución lateral.

5

Si el reflector se sitúa sobre un lóbulo lateral, las señales ya no se componen constructivamente. Las fases de los datos de apertura muestran una gran disparidad que produce un muy bajo factor de coherencia de fase,  $CF(k) \approx 0$ . Al multiplicar la suma de los datos de la

10 apertura por este valor bajo según (4), se reducen o cancelan las indicaciones de los lóbulos laterales.

10

Los lóbulos de rejilla resultan de replicar de forma distribuida indicaciones de reflectores situados sobre el lóbulo principal. Con las

15 señales de banda ancha utilizadas en imagen ultrasónica, las réplicas son composiciones parcialmente coherentes: sólo una pequeña fracción de los  $N$  datos de la apertura están en fase y el resto muestra fases diversas. En conjunto, la dispersión de las fases es elevada, produciendo un bajo valor del factor de coherencia de fase  $CF(k) \approx 0$ . Al multiplicar la suma de los

20 datos de la apertura por este valor, según la ecuación (4), se limitan las indicaciones de los lóbulos de rejilla.

20

Asimismo, las señales recibidas cuando se producen aberraciones de fase muestran una elevada dispersión de fases, que resulta en un bajo

25 factor de coherencia de fase  $CF(k) \approx 0$ . Al multiplicar la suma de las señales de apertura por este valor bajo según (4), se reducen estas indicaciones.

25

Las fases de los datos de apertura se obtienen de la señal analítica expresada con sus componentes en fase  $SI_i(k)$  y en cuadratura  $SQ_i(k)$

30 como:

30

$$\varphi_i(k) = \tan^{-1} \frac{SQ_i(k)}{SI_i(k)} \quad (5)$$

Los conformadores de haz que operan en banda base disponen directamente de la señal analítica en fase y en cuadratura, con lo que  
5 basta la aplicación de la Ecuación (5) para obtener la fase  $\varphi_i(k)$  en cada canal  $i$  para cada rango  $k$ . La fase resultante debe quedar comprendida en el intervalo  $(-\pi, \pi)$ .

En caso de utilizar un conformador de haz operando en  
10 radiofrecuencia, sin embargo, se requiere una operación previa para obtener la señal en cuadratura mediante un transformador de Hilbert, cuya realización es conocida (A.V. Oppenheim, R. W. Schaffer: "Digital Signal Processing", Prentice-Hall, 1975):

$$\begin{aligned} SQ_i(k) &= \text{Hilbert}[S_i(k)] \\ SI_i(k) &= S_i(k) \end{aligned} \quad (6)$$

También existen otras técnicas conocidas que permiten obtener una aproximación a la señal analítica mediante el muestreo en cuadratura [K. Ranganathan et al., "Direct sampled I/Q beamforming for compact and  
20 very low-cost ultrasound imaging", IEEE Trans. on Ultrason., Ferroelect. Freq. Contr., 51, 9, pp. 1082-1094, 2004].

Con los procedimientos descritos, se puede obtener con una precisión arbitraria la fase instantánea de los datos de la apertura. Una  
25 mayor precisión requiere una complejidad electrónica mayor, pero no proporciona una mejora correspondiente en la supresión de las señales no coherentes. Por esta razón las fases se calcularán, preferentemente, con una precisión relativamente baja, típicamente con una resolución entre 1 y 8 bits.

Una vez evaluadas las fases de las señales a partir de la Ecuación (5), el coeficiente de coherencia de fase preferido se calcula a partir de la siguiente expresión, donde la función  $\max()$  sirve para evitar que  $CF(k)$  tome valores negativos:

5

$$CF(k) = \max(0, 1 - \alpha \cdot f[\varphi_i(k)]) \quad (7)$$

donde:

10

$\varphi_i(k)$  es la fase de la muestra  $k$  de la señal  $i$  de los datos de la apertura;

$\alpha$  es un parámetro de ajuste; y

15

$f$  es un estimador de la dispersión (o similitud) de las fases de las señales de la apertura. Puede ser un estadístico de medida de dispersión, como, por ejemplo, el rango, la desviación estándar ( $\sigma$ ), la varianza ( $\sigma^2$ ), la curtosis, etc. Alternativamente, pueden elegirse funciones de medida de la similitud, en los que  $f(\cdot)$  decrezca con incrementos en la similitud de las fases.

20

De la definición dada por la Ecuación (7), los valores de  $CF(k)$  estarán comprendidos entre 0 y 1. El máximo  $CF(k)=1$  se obtiene cuando  $f[\varphi_i(k)] = 0$ , esto es, cuando la dispersión de las fases es mínima o, equivalentemente, su similitud es máxima. El mínimo  $CF(k)=0$  se obtiene cuando  $f[\varphi_i(k)] \geq 1/\alpha$ , esto es, cuando la dispersión de las fases alcanza cierto valor programable mediante el parámetro  $\alpha$ .

25

En una realización preferida de la invención, se emplea como estimador  $f$  la desviación estándar. En este caso, el factor de coherencia

se calcula como:

$$CF_1(k) = \max(0, 1 - \alpha_1 \cdot \sigma[\varphi_i(k)]) \quad (8)$$

- 5 donde  $\sigma[\varphi_i(k)]$  representa la desviación estándar de las fases de los datos de la apertura, y el coeficiente de normalización  $\alpha_1$  toma, preferentemente, valores entre 0 y  $\frac{1}{\pi}$ .

La Ecuación (8) tiene un valor unidad cuando todas las fases son iguales, y por tanto la desviación estándar es nula, y un valor cero cuando la desviación estándar de las fases alcanza o supera el valor  $\frac{1}{\alpha_1}$ .

En otra realización preferida de la invención, se emplea como estimador  $f$  la varianza:

15

$$CF_2(k) = \max(0, 1 - \alpha_2 \sigma^2[\varphi_i(k)]) \quad (9)$$

- donde  $\sigma^2[\varphi_i(k)]$  representa la varianza de las fases de los datos de la apertura, y el coeficiente de normalización  $\alpha_2$  toma, preferentemente, valores entre 0 y  $\frac{1}{\pi^2}$ .

Análogamente, pueden definirse ecuaciones para calcular el coeficiente de coherencia de fase basadas en otros momentos estadísticos que midan la dispersión de la variable aleatoria  $\varphi_i(k)$ , como por ejemplo la kurtosis u otros momentos de orden superior.

25

En una realización preferida particularmente interesante, las fases

de las señales de los datos de la apertura, que ocupan el intervalo  $(-\pi, \pi)$ , se evalúan con un único bit  $b$  al que se asigna los valores  $-1$  y  $+1$  para los intervalos angulares  $(0, \pi]$  y  $[-\pi, 0]$ , respectivamente. En esta situación la complejidad electrónica es mínima, pues basta considerar el signo de cada señal: las señales positivas toman un valor  $b=+1$  y las negativas  $b=-1$ , esto es:

$$b_i(k) = \begin{cases} -1 & \text{si } S_i(k) < 0 \\ +1 & \text{si } S_i(k) \geq 0 \end{cases} \quad (10)$$

La dispersión de las fases corresponde a la de una variable aleatoria discreta con dos valores, por lo que son de aplicación las Ecuaciones (7) a (9) anteriores sustituyendo  $\varphi_i(k)$  por  $b_i(k)$ .

En una realización aún más particular, la varianza de la variable  $b_i$  para un rango  $k$  determinado es:

$$\sigma^2(b_i) = \frac{N \sum_{i=1}^N b_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N b_i \right)^2}{N^2} \quad (11)$$

De esta ecuación se deduce que el mínimo de  $\sigma^2$  es 0 y, el máximo

1. Lógicamente, también la desviación estándar  $\sigma$  tiene un rango de valores  $(0, 1)$ . De este modo, en la Ecuación (9), puede hacerse  $\alpha_2 = 1$  y eliminar la función  $\max(\cdot)$ , ya que el factor  $CF(k)$  tomará valores entre 0 y 1. Con esto, se define el factor de coherencia de fase por polaridad  $CFP(k)$  como:

$$CFP(k) = \left( 1 - \sigma^2[b_i(k)] \right)^P \quad (12)$$



donde el exponente  $P \geq 0$  es un parámetro que permite ajustar el nivel de corrección. Por otra parte, el primer término del numerador de la Ecuación (11) es:

$$5 \quad N \sum_{i=1}^N b_i^2 = N^2 \quad (13)$$

Sustituyendo en (11) resulta:

$$1 - \sigma^2(b_i) = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_i(k) \right)^2 \quad (14)$$

10

Sustituyendo en (12):

$$CFP(k) = \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_i(k) \right|^{2P} \quad (15)$$

15 El intervalo de variación de  $CFP(k)$  es de 0 a 1, para cualquier valor del exponente  $P$ . En particular,  $CFP(k)$  es cero cuando la varianza es máxima e igual a 1 (ver Ecuación 12), lo que representa señales con una gran diversidad de fases y, por tanto, de baja coherencia. Recíprocamente,  $CFP(k)$  es unitario cuando la varianza se anula, situación que se produce

20 cuando todas las señales están en fase y, por tanto, son coherentes. De este modo el factor  $CFP(k)$  puede utilizarse para corregir las imágenes ultrasónicas por aplicación de la Ecuación (4) sustituyendo  $CF(k)$  por  $CFP(k)$ . Debe observarse que, de la ecuación (14), se puede despejar  $\sigma^2(b_i)$  y, extrayendo la raíz cuadrada, obtener la desviación estándar  $\sigma(b_i)$

25 con la que se calcule un factor  $CFP(k)$  análogo, sin que el método propuesto se modifique sustancialmente.

La acción del exponente  $P$ , que puede ser programado por el usuario, es enfatizar o atenuar el efecto de la corrección. Así, para su valor mínimo  $P=0$ , resulta  $CFP(k)=1$  con independencia de las fases de los datos de apertura. En este caso al aplicar la corrección según la Ecuación (4) los datos de salida igualan a los de entrada:  $y(k) = x(k)$ , esto es, no se realiza ninguna corrección obteniéndose la imagen original. Para valores  $0 < P \leq 1$  se obtienen correcciones moderadas, que se van acentuando al aumentar  $P$ . Para valores  $P$  elevados el efecto de la corrección aumenta, llegando un punto en el que sólo se hacen visibles las señales totalmente coherentes. Puesto que todas las señales tienen cierta cantidad de ruido, que no es coherente, a partir de cierto valor de  $P$  pueden llegar a desaparecer en la imagen los verdaderos reflectores. No obstante, el rango de variación de  $P$  puede ser muy alto, habiéndose comprobado su eficacia en intervalos de 0 a 50.

15

Un segundo aspecto de la invención está dirigido a un aparato para la corrección de imágenes ultrasónicas, que comprende medios para calcular un coeficiente de coherencia de fase a partir de las fases de los datos de la apertura y un medio para multiplicar dicho factor de coherencia por la muestra conformada.

20

En una primera realización particular, el aparato de la invención utiliza toda la información de las fases de los datos de la apertura para calcular el coeficiente de coherencia de fase. En ese caso, los medios para calcular el coeficiente de coherencia de fase comprenden:

25

a) Un primer medio de cálculo, que recibe las señales en fase y en cuadratura de los datos de apertura, y evalúa la fase instantánea de los datos de la apertura aplicando la ecuación:

30

$$\varphi_i(k) = \tan^{-1} \frac{SQ_i(k)}{SI_i(k)}$$

Las señales en fase y en cuadratura de los datos de la apertura está disponible directamente, por ejemplo, cuando se utiliza un conformador de haz en banda base. En caso de no disponer de esas  
 5 señales, por ejemplo cuando el conformador es en radiofrecuencia, es necesario un medio de cálculo adicional conectado al primer medio de cálculo, que recibe los datos de apertura y calcula las señales en fase y en cuadratura de acuerdo con la ecuación:

$$\begin{aligned} SQ_i(k) &= Hilbert[S_i(k)] \\ SI_i(k) &= S_i(k) \end{aligned}$$

b) Un segundo medio de cálculo, conectado al primer medio de cálculo, que determina los factores de coherencia de fase de acuerdo con la ecuación:

$$CF(k) = \max(0, 1 - \alpha \cdot f[\varphi_i(k)])$$

En una segunda realización particular, el aparato de la invención toma únicamente los signos de las fases de los datos de la apertura. En  
 20 este segundo caso, los medios para calcular el coeficiente de coherencia de fase comprenden:

a) Un sumador, que suma los signos de las fases de los datos de la apertura.

25

b) Una tabla, que recibe la salida del sumador y el coeficiente P, y que calcula el coeficiente de coherencia de fase de acuerdo con la ecuación

$$CFP(k) = \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_i(k) \right|^{2P}$$

Además, en otra realización preferida de la invención, el aparato comprende además un medio de detección de igualdad de signos, que detecta la igualdad de todos los signos  $b_i$  y envía una señal indicativa a la tabla.

En otra realización preferida más de la invención, el aparato de la invención comprende medios para seleccionar manualmente el valor del coeficiente P.

Aunque no se menciona explícitamente en la descripción precedente, la invención se extiende igualmente a programas de ordenador, particularmente los programas de ordenador que se encuentran situados sobre o dentro de una portadora, adaptados para llevar a la práctica el procedimiento de la invención. El programa puede tener la forma de código fuente, código objeto, una fuente intermedia de código y código objeto, por ejemplo, como en forma parcialmente compilada, o en cualquier otra forma adecuada para uso en la puesta en práctica de los procesos según la invención. La portadora puede ser cualquier entidad o dispositivo capaz de soportar el programa.

Por ejemplo, la portadora podría incluir un medio de almacenamiento, por ejemplo, una memoria ROM, una memoria CD ROM o una memoria ROM de semiconductor, o un soporte de grabación magnética, por ejemplo, un disco flexible o un disco duro. Además, la portadora puede ser una portadora transmisible, por ejemplo, una señal eléctrica u óptica que podría transportarse a través de cable eléctrico u óptico, por radio o por cualesquiera otros medios.

Cuando el programa va incorporado en una señal que puede ser transportada directamente por un cable u otro dispositivo o medio, la portadora puede estar constituida por dicho cable u otro dispositivo o medio.

5

Como variante, la portadora podría ser un circuito integrado en el que va incluido el programa, estando el circuito integrado adaptado para ejecutar, o para ser utilizado en la ejecución de, los procesos correspondientes.

10

## DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

15

La Fig. 1 muestra la arquitectura típica de un conformador de haz digital convencional, destacando el lugar de inserción del corrector de imágenes propuesto en esta invención.

20

La Fig. 2 muestra un patrón lateral del haz ultrasónico, para facilitar la identificación de los diferentes lóbulos que intervienen en la formación de la imagen.

25

La Fig. 3 muestra el principio de obtención del factor de coherencia de fase  $CF$  para conformadores de haz de banda base y de radiofrecuencia.

30

La Fig. 4 muestra el circuito general para obtener el factor de coherencia de fase por polaridad *CFP* en cualquier conformador de haz y la posible inclusión de optimizaciones.

5 La Fig. 5 muestra un ejemplo de realización para 32 canales, que calcula el factor de coherencia de fase por polaridad *CFP* en tiempo real, con el que corrige las imágenes obtenidas por el conformador de haz, destacando la innovación introducida por esta invención.

10 La Fig. 6 presenta un gráfico que relaciona los valores del factor de coherencia de fase por polaridad *CFP* con el número de señales coherentes en un sistema de 32 canales, para diferentes valores del exponente *P*.

## 15 **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION**

### **Técnica anterior**

Un sistema de acuerdo con la técnica anterior tiene la estructura y  
20 dispositivos mostrados en la Figura 1, arquitectura general que es bien conocida en el ámbito con diversas variantes. El array (10) de transductores está compuesto por los *N* elementos transductores numerados (1), (2), ..., (*N*). Cada elemento genera un impulso ultrasónico al ser excitado por una señal eléctrica y, recíprocamente, genera señales  
25 eléctricas al recibir ecos ultrasónicos. En emisión el conmutador (11) conecta los elementos del array (10) a los excitadores (19) y, en recepción, a los amplificadores (12).

30 Para generar un haz ultrasónico en emisión, los *N* excitadores (19) se activan a intervalos de tiempo calculados y coordinados para producir la deflexión y focalización del haz en una dirección y profundidad

determinadas. Al finalizar la excitación de los elementos, el conmutador (11) pasa a la posición de recepción.

El haz ultrasónico generado se propaga por el medio inspeccionado (21), produciendo ecos en cada discontinuidad. Estos ecos regresan al array (10) donde son recibidos por los  $N$  elementos (1) a ( $N$ ). Las señales pasan a través del conmutador (11) y son amplificadas por  $N$  amplificadores (12), opcionalmente con diferentes ganancias para realizar la operación de apodización. Las señales amplificadas son digitalizadas por  $N$  conversores analógico-digital (13) de forma independiente. Las salidas  $R_1, R_2, \dots, R_N$  de los conversores A/D están conectadas a unos dispositivos (14) de retardo independientes para cada señal. Los retardos se ajustan para compensar las diferencias en el tiempo de vuelo desde la emisión al foco y a cada elemento desde el dispositivo de control (22).

Se obtiene así el conjunto de datos de la apertura (20), compuesto por las  $N$  señales retrasadas  $S_1, S_2, \dots, S_N$ . Un sumador (15) realiza la suma de estas señales para obtener la salida  $x$ , que está enfocada por los retardos aplicados al conjunto de señales  $R_1, R_2, \dots, R_N$ . Los sistemas más avanzados modifican dinámicamente estos retardos, en un conformador de haz, para seguir al pulso ultrasónico en su propagación por el medio (21), de forma que la señal  $x$  obtenida quede focalizada en toda su longitud (técnica de focalización dinámica).

Una vez conformada, la señal  $x$  pasa a un detector de envolvente (16) y posteriormente a un conversor de coordenadas de barrido (17), visualizándose finalmente en la pantalla (18).

Este proceso se repite para una diversidad de direcciones, cambiando los retardos en emisión y recepción, de forma que se explora una región de interés. Si el array es lineal, el barrido se produce en un

plano y, si es bidimensional, en un volumen.

El efecto de la conformación del haz ultrasónico en emisión es que un reflector en las proximidades del foco produce un eco de alta intensidad que, a su vez, es enfocado en recepción mediante la compensación de los  
5 tiempos de vuelo a cada elemento por la introducción de los retardos correspondientes.

Sin embargo, la conformación del haz no es perfecta.  
10 Habitualmente, la amplitud de la salida del conformador se describe mediante el patrón lateral del haz. La Figura 2 muestra en escala logarítmica (dB), el patrón lateral del haz de un array de 64 elementos distanciados  $\lambda$  y un ancho de banda relativo de un 40%, para un ángulo de deflexión  $\theta_0 = 20^\circ$ , posición en la que se encuentra el lóbulo principal (A).  
15 Se observa la presencia de lóbulos laterales (B), especialmente elevados en las proximidades del lóbulo principal al que ensanchan, y un gran lóbulo de rejilla (C). El lóbulo de rejilla aparece cuando la distancia entre elementos del array es mayor que media longitud de onda ( $\lambda/2$ ), como es habitual con aperturas dispersas. Los lóbulos laterales próximos al  
20 principal reducen la resolución lateral del sistema de imagen.

Un reflector situado en la dirección  $\theta_0$  del lóbulo principal (A) produce una amplitud máxima a la salida del conformador (0 dB) para la ley focal que corresponde a la deflexión  $\theta_0$  y a su rango. Pero, cuando la  
25 ley focal se modifica para visualizar las señales procedentes de la dirección  $\theta_1$ , donde no existe reflector, a la salida del conformador se obtiene una señal con la amplitud correspondiente al lóbulo de rejilla, debido a la réplica del reflector en  $\theta_0$ . Análogamente, en las direcciones de los lóbulos laterales, a la salida del conformador se obtendrán las  
30 amplitudes correspondientes, aunque no existan reflectores.



Por otra parte, los retardos se calculan para una velocidad de propagación del ultrasonido determinada, pero las variaciones que sufre en su propagación por medios no homogéneos son desconocidas, produciendo errores de focalización o aberraciones de fase que desenfocan la imagen.

El nivel de estas indicaciones falsas limita el rango dinámico de la imagen, así como el contraste entre zonas anecoicas y zonas con reflectores o dispersores, por lo que es muy conveniente disponer de medios que reduzcan el nivel de los lóbulos laterales y de rejilla.

Además, la anchura del lóbulo principal y de los lóbulos laterales más próximos determina la resolución lateral del sistema de imagen, esto es, su capacidad para discriminar dos reflectores próximos entre sí. De este modo, también es deseable reducir la anchura del lóbulo principal simultáneamente con una reducción del nivel de los lóbulos laterales para mejorar la resolución del sistema de imagen ultrasónica.

### Ejemplo 1

La Figura 3 muestra el diagrama de bloques de un aparato (55a) de acuerdo con la invención, en el que los factores de coherencia de fase se calculan, según el procedimiento descrito más arriba en el presente documento, utilizando toda la información de la fase de los datos de la apertura.

En una realización de la invención, por ejemplo cuando se emplea un conformador de haz en banda base, sólo se requiere un bloque (31) para evaluar la fase instantánea de los datos de la apertura por aplicación de la Ecuación (5). En otra realización, por ejemplo cuando se emplea un conformador de haz en radiofrecuencia, se requiere previamente un

transformador de Hilbert (30) para llevar a cabo la operación de la Ecuación (6).

A la salida del bloque (31) se obtienen, por tanto, las fases de los datos de la apertura, a partir de las cuales el bloque (32) determina los valores de los factores de coherencia de fase de acuerdo con la fórmula:

$$CF(k) = \max(0, 1 - \alpha \cdot f[\varphi_i(k)]) \quad (16)$$

donde  $f[\varphi_i(k)]$  es un estimador de dispersión, preferentemente la desviación estándar o la varianza de las  $N$  fases  $\varphi_i(k)$  para cada rango  $k$ , y  $\alpha$  es una constante ajustable que determina la sensibilidad del factor  $CF(k)$  a la dispersión de las fases.

## 15 Ejemplo 2

Se describe un ejemplo de realización de un aparato (55b) de acuerdo con la invención en el caso de emplear únicamente los signos de los datos de la apertura para calcular los factores de coherencia de fase. En la Figura 4 se muestra un sencillo esquema electrónico utilizado para implementar la Ecuación (15). Un sumador (40) obtiene la salida  $SQ = \sum q_i$ , que es la suma de los bits de signo  $q_1, q_2, \dots, q_N$  de los datos de la apertura  $S_1, S_2, \dots, S_N$  obtenidos por un aparato convencional (ver Figura 1). Debe destacarse que el sumador (40) interpreta el valor del signo  $q$  de las señales en complemento a 2, esto es,  $q=0$  para las señales positivas ( $b=+1$ ) y  $q=1$  para las negativas ( $b=-1$ ).

La suma  $SQ$  de los  $N$  signos sólo puede producir valores en un conjunto que tiene  $N/2+1$  elementos. Este es el número máximo de entradas necesarias en la tabla (41) para cada valor de  $P$ .

Hay algunas optimizaciones que pueden realizarse para reducir aún más la cantidad de recursos utilizados. Así, el caso  $|SQ|=N$ , que se produce exclusivamente con una igualdad de todos los signos  $q_i$ , se puede detectar aparte con el circuito (43), señalado con trazos pues su presencia es opcional. La igualdad de signos equivale a una varianza nula, con lo que  $CFP=1$  según la Ecuación (12). La salida del detector de igualdad de signos (43) activa la entrada U de la tabla (41) para que ésta proporcione un valor unitario a su salida, reduciendo a  $N/2$  el número total de entradas requeridas en la tabla (41). Alternativamente, se puede detectar el caso en que  $|SQ| = 0$ , situación en la que  $CFP=0$ . En este caso, la entrada U de la tabla (41) se utiliza para proporcionar un valor nulo a su salida, reduciendo también a  $N/2$  el número total de entradas requeridas en la tabla (41). Por ejemplo, en un caso típico con  $N=128$ , la tabla (41) contiene 64 entradas con las optimizaciones descritas.

15

En una posible realización, cada cambio en el valor de  $P$  carga nuevos valores en la tabla (41). En general, el tiempo invertido en esta operación puede ser ignorado (escritura de algunas decenas de datos).

20

En otra posible realización, se puede codificar  $P$  para actuar conjuntamente con  $SQ$  como dirección en una tabla única, evitando la recarga de la tabla (41) (en la Figura 4 la entrada de  $P$  codificado se indica con línea de trazos). En el ejemplo anterior, para 16 valores de  $P$ , la tabla (41) total contendría  $16 \times 64 = 1024$  entradas. La dirección de acceso a la tabla (41) se compone de dos campos: el selector para el exponente  $P$  y el selector del valor  $CFP$  para el valor  $SQ$  actual. Debe destacarse que el selector del exponente  $P$  no tiene por qué coincidir con el valor del exponente, sino que es un código asignado a un valor no necesariamente entero. Por ejemplo, los selectores consecutivos 0, 1, 2, 3, etc. se pueden asignar a valores  $P= 0, 0'5, 1, 1'5$ , etc.

30

El valor  $CFP$  obtenido de la tabla (41) pondera en el multiplicador (42) la señal  $x$  correspondiente a la muestra conformada, para entregar a la salida la señal  $y$  debidamente corregida con coherencia de fase por polaridad. La adición de un filtro de suavizado entre la salida de la tabla y la entrada en el multiplicador permitirá eliminar transitorios en  $CFP$ , sin que  
5 ello suponga un cambio sustancial, por lo que no se indica en la figura.

### Ejemplo 3

10 La Figura 5 muestra el esquema de una realización particular de un corrector (55c) de imágenes ultrasónicas por coherencia de fase de la invención para un sistema de  $N=32$  elementos. En este caso se utilizó la coherencia de fase por polaridad, ya que su implementación es más sencilla y, además, se consideró el exponente  $P=1$  (ecuaciones 15 y 18).

15

Las entradas al corrector (55c)  $S_1, S_2, \dots, S_{32}$  fueron las señales obtenidas tras aplicar los retardos de focalización a las señales recibidas por los  $N$  elementos del array. Cada señal  $S_i$  está expresada en complemento a 2 con 12 bits. El signo está indicado por el bit más  
20 significativo  $q_1, q_2, \dots, q_{32}$ , que es interpretado por el sumador (51) como +1 si la señal es positiva y por -1 si es negativa.

Para facilitar la interpretación del proceso, en la Figura 5 se incluye el sumador (50), que pertenece al conformador, al que llegan entradas de  
25 12 bits, produciendo la salida  $x$ , de 17 bits (suma de  $2^5$  valores de 12 bits).

Por otra parte, los bits de signo  $q_1, q_2, \dots, q_{32}$  se sumaron en el sumador (51), que produce la salida  $SQ$ , expresada en el rango (-32, 32). La tabla (52) se construyó con las entradas que corresponden a la Ecuación (15) para  $N=32$  y  $P=1$  utilizando aritmética fraccional.

30

La tabla (52) es una memoria RAM para poder modificar su

contenido, en la que SQ actúa como dirección en lectura, proporcionando las salidas CF siguientes en función del valor de los posibles valores del valor absoluto |SQ|:

SQ	32	30	28	26	24	22	20	18	16
CF	1	0.879	0.766	0.660	0.563	0.473	0.391	0.316	0.250

5

SQ	14	12	10	8	6	4	2	0
CF	0.191	0.141	0.098	0.063	0.035	0.016	0.004	0

Para  $SQ=0$ ,  $CF=0$ , excepción que podría detectarse por separado para reducir el número de entradas en la tabla (52) de 17 a 16, aspecto no optimizado en el ejemplo actual.

10

Los valores de la tabla están comprendidos entre 0 y 1, pudiendo expresarse con aritmética fraccional. En este caso, se expresan con 10 bits.

15

La salida CF de la tabla (52) (10 bits) se multiplica en (53) por la salida x de la suma coherente (17 bits) para obtener la señal xc de  $17+10=27$  bits de los que únicamente se seleccionan los 17 más significativos por operar con aritmética fraccional.

20

El conjunto de dispositivos (55b) constituye el corrector por coherencia de fase que hay que añadir al conformador de haz para mejorar las imágenes ultrasónicas en resolución lateral, rango dinámico, contraste y relación señal/ruido según los principios expuestos en esta invención.

25

La Figura 6 muestra gráficamente el valor resultante de CFP en

función de  $SQ$  para distintos valores de  $P$  y el ejemplo 3 considerado en la Figura 5. Con línea continua se representan los valores que corresponden a este ejemplo con  $P=1$ ; con línea de trazos se muestran los valores correspondientes a un caso  $P=2$  y, con línea de puntos, al caso  $P=0.5$ . La

5 gráfica ilustra la más rápida reducción de  $CFP$  al aumentar el valor de  $P$ , lo que enfatiza el efecto de la corrección con una mayor reducción de las señales detectadas como no coherentes.

## **REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para la corrección de imágenes ultrasónicas por análisis de fase, caracterizado porque comprende la operación de multiplicar la muestra conformada por un factor de coherencia de fase ( $CF(k)$ ) basado en la dispersión de las fases de los datos de la apertura ( $S_i(k)$ ).

2. Procedimiento para la corrección de imágenes ultrasónicas de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el factor de coherencia de fase ( $CF(k)$ ) se calcula de acuerdo con la expresión:

$$CF(k) = \max(0, 1 - \alpha \cdot f[\varphi_i(k)])$$

donde  $f[\varphi_i(k)]$  es una función de medida de la dispersión de las fases  $\varphi_i(k)$  de los datos de la apertura y  $\alpha$  un parámetro de ajuste modificable.

3. Procedimiento para la corrección de imágenes ultrasónicas de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque la función  $f[\varphi_i(k)]$  de medida de la dispersión de las fases  $\varphi_i(k)$  de los datos de la apertura es la desviación estándar  $\sigma$ .

4. Procedimiento para la corrección de imágenes ultrasónicas de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado porque el coeficiente  $\alpha$  toma valores pertenecientes al rango  $\left[0, \frac{1}{\pi}\right]$ .

5. Procedimiento de corrección de imágenes ultrasónicas de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque la función  $f[\varphi_i(k)]$  de medida

de la dispersión de las fases  $\varphi_i(k)$  de los datos de la apertura es varianza  $\sigma^2$ .

6. Procedimiento para la corrección de imágenes ultrasónicas de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado porque el coeficiente  $\alpha$  toma valores pertenecientes al rango  $\left[0, \frac{1}{\pi^2}\right]$ .

7. Procedimiento para la corrección de imágenes ultrasónicas de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el factor de coherencia de fase  $CF(k)$  se calcula a partir de los signos de las fases de los datos de la apertura ( $S_i(k)$ ).

8. Procedimiento para la corrección de imágenes ultrasónicas de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado porque el factor de coherencia de fase  $CF(k)$  se calcula de acuerdo con la expresión:

$$CF(k) = \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_i(k) \right|^{2P}$$

donde  $b_i(k) = \begin{cases} -1 & \text{si } \varphi_i(k) < 0 \\ +1 & \text{si } \varphi_i(k) \geq 0 \end{cases}$  y P es un parámetro de ajuste modificable.

20

9. Programa de ordenador que comprende instrucciones del programa para hacer que un ordenador lleve a la práctica el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

25 10. Programa de ordenador según la reivindicación 9, incorporado en medios de almacenamiento.



11. Programa de ordenador según la reivindicación 9, soportado en una señal portadora.

12. Aparato (55a, 55b, 55c) para la corrección de imágenes ultrasónicas por análisis de fase de acuerdo con el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende:

10 - unos medios (30, 31, 32, 40, 41, 43, 51, 52) para calcular el factor de coherencia de fase a partir de las fases de los datos de la apertura; y

- un medio (33, 42, 53) para multiplicar dicho factor de coherencia de fase por el valor de la muestra conformada.

15 13. Aparato (55a) para la corrección de imágenes ultrasónicas de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado porque el factor de coherencia de fase se determina empleando toda la información de las fases de los datos de la apertura, donde los medios para calcular el factor de coherencia de fase comprenden:

20 - un primer medio de cálculo (31), que determina las fases instantáneas de los datos de la apertura; y

25 - un segundo medio de cálculo (32), conectado al primer medio de cálculo (31), que determina los factores de coherencia de fase de acuerdo con la ecuación:

$$CF(k) = \max(0, 1 - \alpha \cdot f[\varphi_i(k)])$$

14. Aparato (55b, 55c) para la corrección de imágenes ultrasónicas de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado porque el factor de coherencia de fase se determina empleando los signos de las fases de los datos de apertura, donde los medios para calcular el factor de coherencia de fase comprenden:

- un sumador (40, 51), que suma los signos  $b_i$  de las fases de los datos de la apertura; y

- una tabla (41, 52), que recibe la salida del sumador (40, 51) y un coeficiente P, y calcula el factor de coherencia de fase de acuerdo con la ecuación:

$$CF(k) = \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_i(k) \right|^{2P}$$

15

15. Aparato (55b) para la corrección de imágenes ultrasónicas de acuerdo con la reivindicación 14, caracterizado porque comprende además un medio de detección de igualdad de signos (43), que detecta la igualdad de todos los signos  $b_i$  y envía una señal indicativa a la tabla (41).

20

16. Aparato (55b) para la corrección de imágenes ultrasónicas de acuerdo con la reivindicación 14, caracterizado porque además comprende medios para seleccionar manualmente el valor del coeficiente P.

25

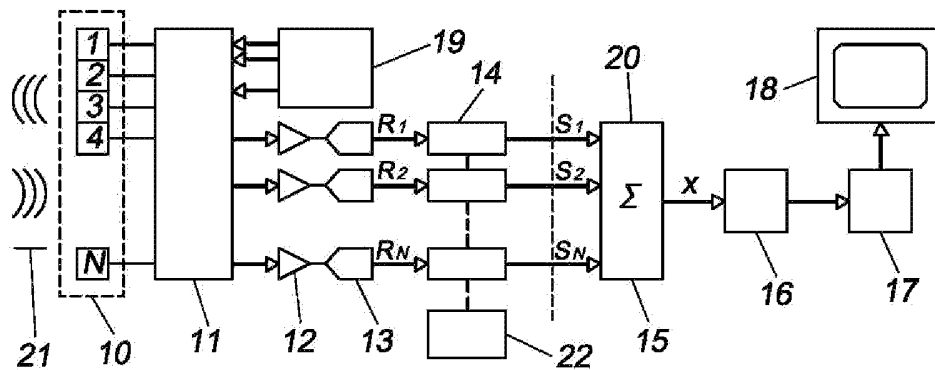


FIG. 1

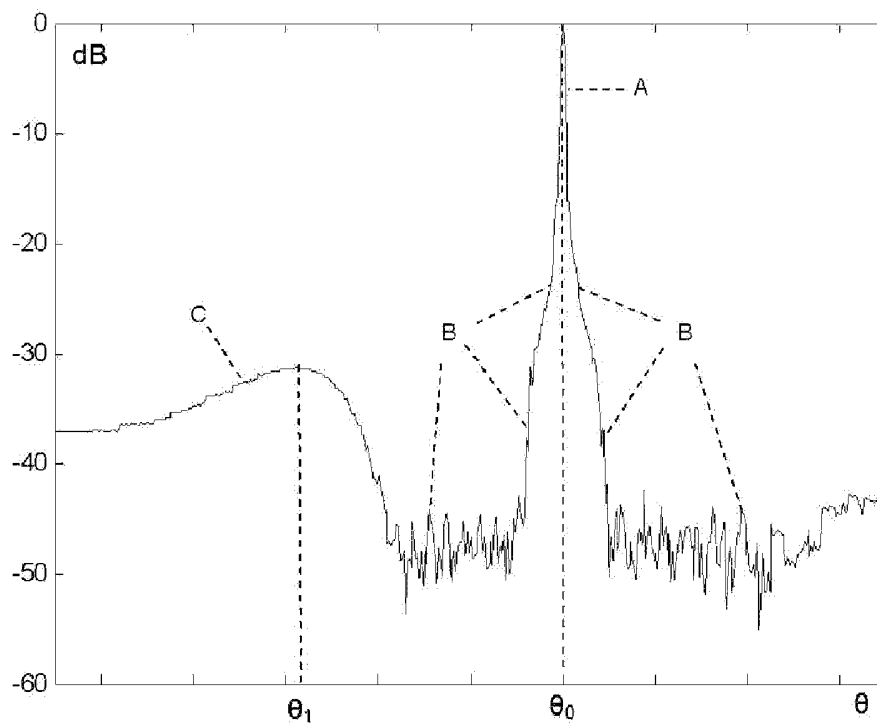


FIG. 2

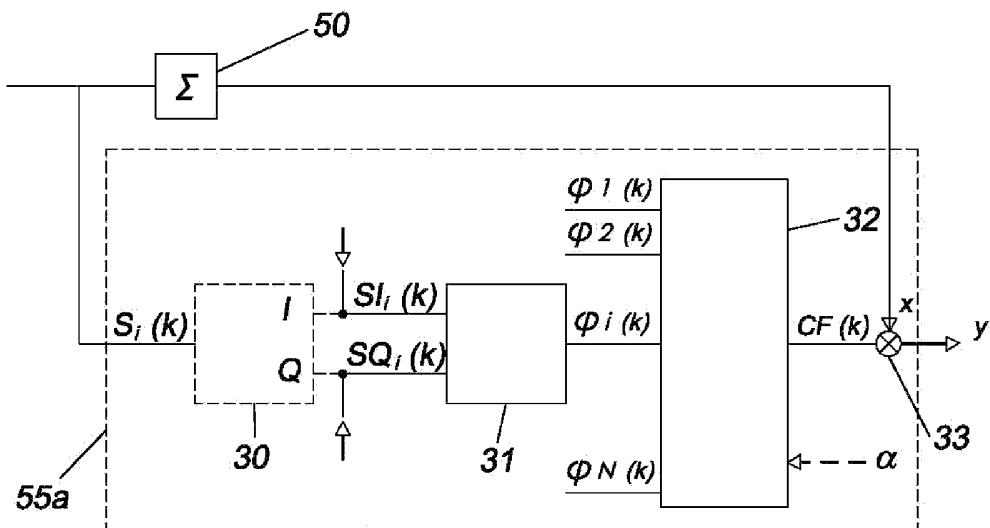


FIG. 3

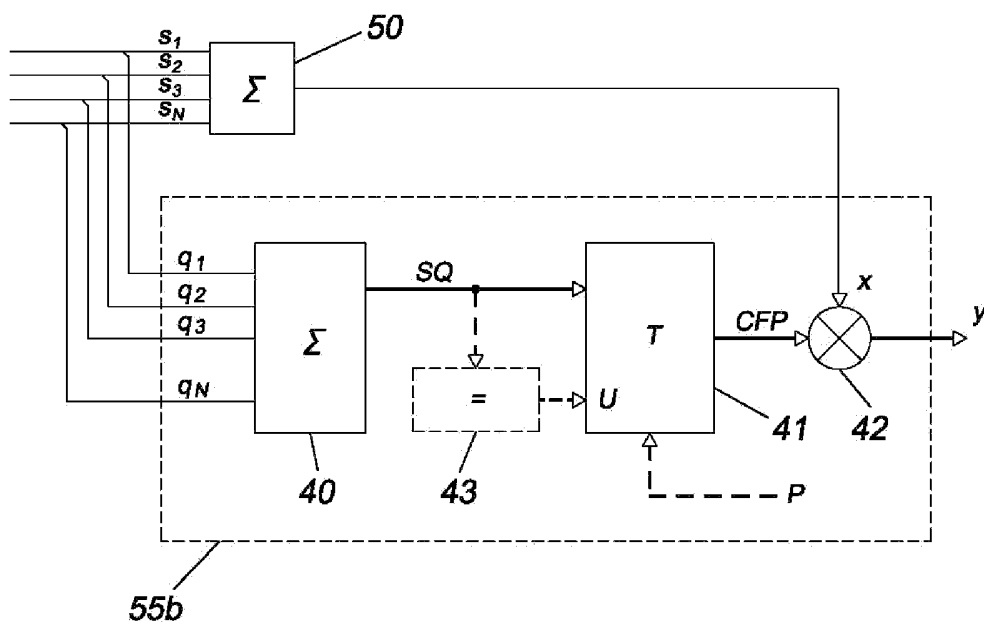


FIG. 4

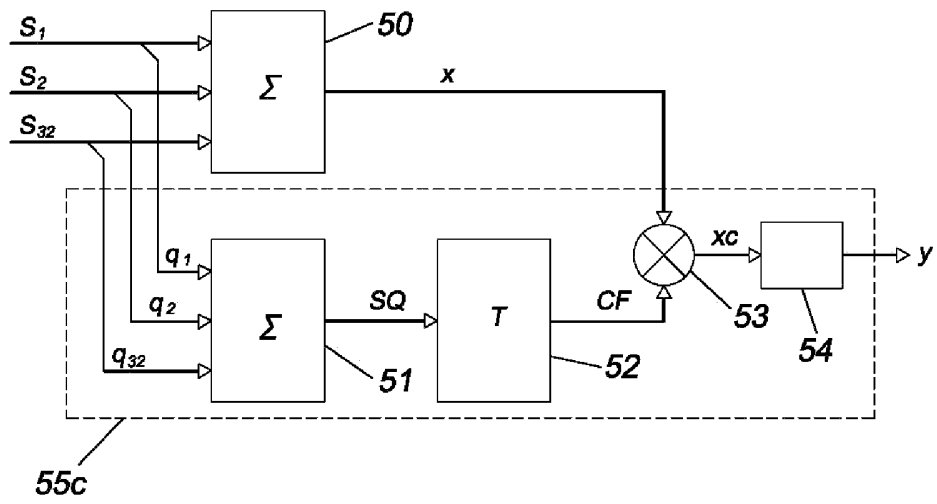


FIG. 5

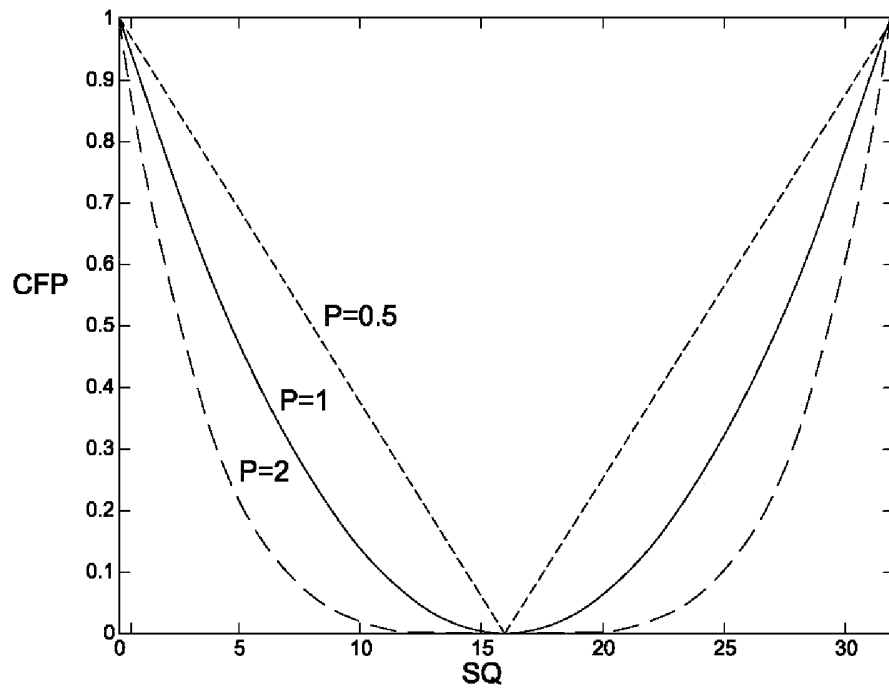


FIG. 6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/ ES 2009/070303

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

see extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G03B42/06, G01S7/52, G01S15/89

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

INVENES,EPODOC,WPI

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2007088213 A1 (POLAND et al.) 19.04.2007,	1
A	US 2005228279 A1 (USTUNER et al.) 13.10.2005,	1
A	US 2003199763 A1 (ANGELSEN et al.) 23.10.2003,	1
A	US 5623928 A (WRIGHT et al.) 29.04.1997,	1

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.</p> <p>“E” earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>
---	--

Date of the actual completion of the international search

19.November.2009 (19.11.2009)

Date of mailing of the international search report

**(23/11/2009)**

Name and mailing address of the ISA/  
O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.  
Facsimile No. 34 91 3495304

Authorized officer

M<sup>a</sup> C. González Vasserot

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No.

PCT/ ES 2009/070303

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007088213 A	19.04.2007	WO 2005050252 A CN 1882850 A	02.06.2005 20.12.2006 20.12.2006
US 2005228279 A	13.10.2005	NONE	-----
US 2003199763 A	23.10.2003	US 6905465 B	14.06.2005 14.06.2005 14.06.2005
US 5623928 A	29.04.1997	WO 9603921 A WO 9603919 A AU 3360795 A AU 3276195 A DE 19581713 T DE 19581717 T US 5667373 A JP 10506802 T JP 10507099 T JP 4203834 B US 5921932 A US 5928152 A US 6016285 A US 6029116 A DE 19581717 B JP 2006346470 A JP 4302718 B	15.02.1996 15.02.1996 04.03.1996 04.03.1996 21.08.1997 21.08.1997 16.09.1997 07.07.1998 14.07.1998 07.01.2009 13.07.1999 27.07.1999 18.01.2000 22.02.2000 05.10.2006 28.12.2006 29.07.2009

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES 2009/070303

## CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**G03B 42/06** (2006.01)

**G01S 7/52** (2006.01)

**G01S 15/89** (2006.01)



# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°  
PCT/ ES 2009/070303

## A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver hoja adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

## B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

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

G03B42/06, G01S7/52, G01S15/89

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

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

INVENES,EPODOC,WPI

## C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
A	US 2007088213 A1 (POLAND et al.) 19.04.2007,	1
A	US 2005228279 A1 (USTUNER et al.) 13.10.2005,	1
A	US 2003199763 A1 (ANGELSEN et al.) 23.10.2003,	1
A	US 5623928 A (WRIGHT et al.) 29.04.1997,	1

En la continuación del Recuadro C se relacionan otros documentos  Los documentos de familias de patentes se indican en el Anexo

<p>* Categorías especiales de documentos citados:</p> <p>“A” documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.</p> <p>“E” solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.</p> <p>“L” documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).</p> <p>“O” documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.</p> <p>“P” documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.</p>	<p>“T” documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.</p> <p>“X” documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.</p> <p>“Y” documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.</p> <p>“&amp;” documento que forma parte de la misma familia de patentes.</p>
--	--

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.

19.Noviembre.2009 (19.11.2009)

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

**23-NOVIEMBRE-2009 (23/11/2009)**

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional

O.E.P.M.

Funcionario autorizado

M<sup>a</sup> C. González Vasserot

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.

N° de fax 34 91 3495304

N° de teléfono

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional N°

PCT/ES 2009/070303

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US 2007088213 A	19.04.2007	WO 2005050252 A CN 1882850 A	02.06.2005 20.12.2006 20.12.2006
US 2005228279 A	13.10.2005	NINGUNO	-----
US 2003199763 A	23.10.2003	US 6905465 B	14.06.2005 14.06.2005 14.06.2005
US 5623928 A	29.04.1997	WO 9603921 A WO 9603919 A AU 3360795 A AU 3276195 A DE 19581713 T DE 19581717 T US 5667373 A JP 10506802 T JP 10507099 T JP 4203834 B US 5921932 A US 5928152 A US 6016285 A US 6029116 A DE 19581717 B JP 2006346470 A JP 4302718 B	15.02.1996 15.02.1996 04.03.1996 04.03.1996 21.08.1997 21.08.1997 16.09.1997 07.07.1998 14.07.1998 07.01.2009 13.07.1999 27.07.1999 18.01.2000 22.02.2000 05.10.2006 28.12.2006 29.07.2009

**CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD**

***G03B 42/06*** (2006.01)

***G01S 7/52*** (2006.01)

***G01S 15/89*** (2006.01)