



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 341 005**

(51) Int. Cl.:
G01S 15/89 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **04742298 .5**

(96) Fecha de presentación : **19.03.2004**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1620749**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **01.02.2006**

(54) Título: **Procedimiento para determinar respuestas impulsionales de un medio con respecto a la transmisión de ondas entre diferentes puntos.**

(30) Prioridad: **24.03.2003 FR 03 03545**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.06.2010

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.06.2010

(73) Titular/es: **CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)
3, rue Michel-Ange
75794 Paris Cédex 16, FR
Université Paris 7-Denis Diderot**

(72) Inventor/es: **Fink, Matthias;
De la Gorgue de Rosny, Julien;
Julia, Claire y
Folegot, Thomas**

(74) Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 341 005 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

Procedimiento para determinar respuestas impulsionales de un medio con respecto a la transmisión de ondas entre diferentes puntos.

La presente invención se refiere a los procedimientos para determinar respuestas impulsionales de un medio con respecto a la transmisión de ondas entre diferentes puntos.

Más en particular, la invención se refiere a un procedimiento para determinar respuestas impulsionales de un medio con respecto a la transmisión de ondas entre diferentes puntos, procedimiento que comprende:

- (a) al menos una etapa de emisión en el transcurso de la cual se emiten ondas en el medio generando señales $ei(t)$ a partir de un número N de puntos de emisión pertenecientes al medio, siendo N un número entero al menos igual a 2 e i un índice comprendido entre 1 y N que designa uno de dichos N puntos de emisión,
- (b) al menos una etapa de recepción en el transcurso de la cual se detectan señales $rj(t)$ a partir de dichas ondas tras la transmisión en dicho medio, en un número M de puntos de recepción pertenecientes al medio (estos puntos de recepción pueden coincidir con los puntos de emisión), siendo M un entero natural no nulo y j un índice comprendido entre 1 y M que designa uno de dichos M puntos de recepción,
- (c) y al menos una etapa de determinación de dichas respuestas impulsionales $hij(t)$ entre cada punto de emisión i y cada punto de recepción j a partir de las señales emitidas $ei(t)$ y detectadas $rj(t)$.

Las respuestas impulsionales pueden determinarse con fines de focalización de ondas en el medio, por ejemplo con fines de formación de imágenes del medio o de comunicación selectiva entre diferentes puntos del medio, particularmente en el marco de la puesta en práctica del procedimiento "D.O.R.T." (descomposición del operador de inversión temporal) descrito particularmente por Prada *et al.* (C. Prada y M. Fink, "Eigenmodes of the time reversal operator: a solution to selective focusing in multiple- target media." Wave Motion, 20, págs. 151-163 (1994)).

El proceso de adquisición de las respuestas impulsionales entre los puntos en cuestión del medio es, no obstante, relativamente lento, en la medida en que se efectúa de manera secuencial, para los diferentes puntos de emisión i unos detrás de otros, tal como se describe, por ejemplo, en el documento WO-A-02/32 316 en el marco de un procedimiento de focalización de ondas acústicas distinto al procedimiento "D.O.R.T." anteriormente mencionado.

Esta lentitud alarga el tiempo de puesta en práctica del procedimiento, y cuando el medio es cambiante, no permite obtener las respuestas impulsionales suficientemente rápido para poder utilizarse de manera válida a continuación en ese medio.

La presente invención tiene como objetivo, particularmente, paliar estos inconvenientes.

Para ello, según la invención, un procedimiento del tipo en cuestión *se caracteriza porque* en el transcurso de la etapa (a), se emiten simultáneamente las señales $ei(t)$ por dichos N puntos de emisión, teniendo estas señales $ei(t)$ una duración T y siendo, cada una, una suma de n señales elementales sensiblemente monocromáticas, de igual amplitud y de frecuencias respectivas $f_{0,i} + k \cdot \delta f$, siendo $f_{0,i}$ una frecuencia predeterminada propia del punto i , k un número entero comprendido entre 0 y n , n un número entero al menos igual a 2 y δf un paso de frecuencia predeterminado, siendo las frecuencias $f_{0,i}$ respectivas propias de los diferentes puntos i distintas unas de otras y estando comprendidas en una banda de frecuencias de ancho δf , y porque en el transcurso de la etapa (c), se calcula cada respuesta impulsional $hij(t)$ a partir de una señal de correlación entre la señal $ei(t)$ emitida en el punto i y la señal $rj(t)$ detectada en el punto j .

Gracias a estas disposiciones, se calculan simultáneamente las respuestas impulsionales entre N puntos de emisión y M puntos de recepción (eventualmente coincidentes con los puntos de emisión), lo que acelera el proceso de adquisición de las respuestas impulsionales.

En diversos modos de realización del procedimiento según la invención, puede recurrirse eventualmente además a una y/u otra de las disposiciones siguientes:

- las frecuencias $f_{0,i}$ respectivas propias de los diferentes puntos i se separan de dos en dos una distancia $\delta f/N$;
- en el transcurso de la etapa (c), dicha señal de correlación se divide en intervalos por medio de una función rectangular $n(t)$ de ancho $1/\delta f$;
- en el transcurso de la etapa (c), las respuestas impulsionales $hij(t)$ se determinan mediante la fórmula:

$$hij(t) = \Pi(t) \cdot \int ei(\theta - t) \cdot rj(\theta) d\theta \quad ;$$

ES 2 341 005 T3

- las ondas transmitidas en el medio entre los puntos de emisión y los puntos de recepción son ondas acústicas;
- en el transcurso de la etapa (a), el medio en el que se emiten las ondas es reverberante;
- 5 - el paso de frecuencia δf es inferior o igual a $1/\tau$, siendo τ la dispersión en el tiempo del medio (es decir la duración de la señal detectada tras la emisión de una señal impulsional en el medio);
- el paso de frecuencia δf es sensiblemente igual a $1/\tau$, siendo τ la dispersión en el tiempo del medio;
- 10 - la duración T es al menos igual a $N/\delta f$;
- la duración T es al menos igual a $N \cdot \tau$, siendo τ la dispersión en el tiempo del medio;
- las señales elementales presentan fases aleatorias;
- 15 - las ondas se emiten con una determinada banda de paso, las frecuencias f_{0i} comprenden una frecuencia mínima f_0 y el número n se determina para que la banda de frecuencia comprendida entre f_0 y $f_0 + [(n+1) \cdot \delta f]$ cubra sensiblemente dicha banda de paso;
- 20 - los puntos de recepción coinciden con los puntos de emisión.

Otras características y ventajas de la invención resultarán evidentes durante la descripción siguiente de dos de sus modos de realización, dados a modo de ejemplos no limitativos, en relación con los dibujos adjuntos.

- 25 En el dibujo, la figura 1 es una vista esquemática de un dispositivo adaptado para poner en práctica la presente invención, en un modo de realización.

En el ejemplo no limitativo representado en el dibujo, el procedimiento según un modo de realización de la invención se pone en práctica mediante un dispositivo 1 que está adaptado para emitir y recibir ondas en un medio
30 2 homogéneo o no, generalmente reverberante, que puede ser sólido, líquido o gaseoso. Las ondas en cuestión son, preferiblemente, acústicas y la descripción que sigue sólo hará referencia a tales ondas acústicas, si bien dichas ondas podrían ser, eventualmente, de otra naturaleza, por ejemplo de naturaleza electromagnética.

El dispositivo 1 comprende por ejemplo un ordenador 3, o cualquier otro dispositivo de control similar, que controla
35 las emisiones de ondas acústicas y su escucha en el medio 2. Para ello, el ordenador 3 puede controlar, por ejemplo, un dispositivo 4 electrónico dedicado que puede comprender, particularmente, una unidad central electrónica CPU asociada a una memoria central MEM, controlando esta unidad central CPU a su vez N vías (siendo N un entero al menos igual a 2) conectadas cada una a un transductor T1-TN que permite emitir y detectar señales acústicas en el medio 2. Todas las vías están sincronizadas entre sí.

40 Cada vía de medición del dispositivo 4 puede comprender, por ejemplo, un muestreador E1-EN conectado al transductor correspondiente T1-TN, y cada muestreador puede estar conectado a su vez a una memoria asociada a una unidad central, a las que se hace referencia conjuntamente como C1-CN.

45 El dispositivo 1 puede utilizarse particularmente con fines de formación de imágenes del medio 2, o incluso para establecer una comunicación selectiva con un punto de dicho medio, u otro, por ejemplo utilizando el procedimiento "D.O.R.T." (descomposición del operador de inversión temporal) descrito particularmente por Prada *et al.* (C. Prada y M. Fink, "Eigenmodes of the time reversal operator: a solution to selective focusing in multiple-target media." Wave Motion, 20, págs. 151-163 (1994)).

50 En cualquier caso, es necesario determinar las respuestas impulsionales entre los transductores T1-TN.

Para ello, el ordenador 3 controla el dispositivo 1 de manera que sigue de manera sucesiva las etapas siguientes:

- 55 (a) al menos una etapa de emisión en el transcurso de la cual se emiten ondas en el medio generando señales $e_i(t)$ a partir de los N transductores T1-TN (estos N transductores pueden, dado el caso, constituir únicamente una parte de los transductores conectados al dispositivo 4, en cuyo caso las respuestas impulsionales relativas al conjunto de los transductores se adquirirían en varias pasadas sucesivas, manteniéndose estas pasadas, no obstante, en un número muy inferior al número total de transductores), siendo i un índice comprendido
60 entre 1 y N que designa uno de dichos N transductores;
- (b) al menos una etapa de recepción en el transcurso de la cual los N transductores T1-TN detectan señales $r_j(t)$ a partir de dichas ondas tras la transmisión en dicho medio, siendo j un índice comprendido entre 1 y
65 designando N uno de dichos transductores;
- (c) y al menos una etapa de determinación de dichas respuestas impulsionales $h_{ij}(t)$ entre cada punto de emisión i y cada punto de recepción j a partir de las señales emitidas $e_i(t)$ y detectadas $r_j(t)$.

ES 2 341 005 T3

Para permitir la adquisición de una sola vez de todas las señales necesarias para la determinación de las respuestas impulsionales relativas a los N transductores anteriormente mencionados (es decir todos o una parte de los transductores conectados al dispositivo 4, tal como se ha explicado anteriormente), todas las señales $e_i(t)$ se emiten simultáneamente en el transcurso de la etapa (a) por los N transductores, pero estas señales emitidas son ortogonales entre sí de manera que las informaciones propias de cada punto de emisión puedan, a continuación, separarse unas de otras en las señales detectadas $r_j(t)$.

Así, cada señal emitida $e_i(t)$ es igual a la suma de n señales elementales sensiblemente monocromáticas, de igual amplitud y de frecuencias respectivas $f_{0,i} + k \cdot \delta f$, donde:

- $f_{0,i}$ es una frecuencia predeterminada propia del transductor i,

- k es un número entero comprendido entre 0 y n,

- n es un número entero al menos igual a 2,

- y δf es un paso de frecuencia predeterminado, ventajosamente inferior o igual a $1/\tau$ y, preferiblemente, sensiblemente igual a $1/\tau$, siendo τ un valor medio de la dispersión en el tiempo del medio 2, es decir la duración de la señal detectada tras la emisión de una señal impulsional (función de Dirac) en el medio 2.

Las frecuencias $f_{0,i}$ respectivas propias de los diferentes puntos i son distintas unas de otras y están comprendidas en una banda de frecuencias de ancho δf : ventajosamente, estas frecuencias $f_{0,i}$ están separadas de dos en dos por una distancia $\delta f/N$.

Además, si BP es la banda de paso con la que las ondas acústicas se emiten y se reciben por los transductores, y si se nombra f_0 la más baja de las frecuencias $f_{0,i}$, entonces f_0 y n pueden determinarse ventajosamente para que la banda de las frecuencias de las señales elementales (banda comprendida entre f_0 y $f_0 + [(n+1) \cdot \delta f]$) cubra sensiblemente dicha banda de paso.

Ventajosamente, las señales elementales que componen las señales $e_i(t)$ presentan fases aleatorias.

Todas las señales $e_i(t)$ tienen una misma duración T, que es ventajosamente al menos igual a $N/\delta f$, y preferiblemente al menos igual a $N \cdot \tau$.

En el transcurso de la etapa (c), se calcula cada respuesta impulsional $h_{ij}(t)$ a partir de una señal de correlación entre la señal $e_i(t)$ emitida en el punto i y la señal $r_j(t)$ detectada en el punto j.

En el ejemplo considerado aquí, esta señal de correlación tiene el valor:

$$c_{ij}(t) = \int e_i(\theta) \cdot r_j(t - \theta) d\theta$$

(esta integral se realiza, por ejemplo, por una duración al menos igual a T, cuyo inicio coincide con el inicio de la señal $r_j(t)$).

Ventajosamente, esta señal de correlación se divide en ventanas por medio de una función rectangular $\pi(t)$ de ancho $1/\delta f$ (de valor 1 durante un periodo de $1/\delta f$ y 0 fuera de este periodo), en cuyo caso las respuestas impulsionales $h_{ij}(t)$ pueden determinarse ventajosamente mediante la fórmula:

$$h_{ij}(t) = \Pi(t) \cdot c_{ij}(t) \quad .$$

Se indica que, en el ejemplo particular representado en el dibujo y anteriormente descrito, los puntos de recepción j en los que se detecta la onda acústica coinciden con los puntos de emisión y están constituidos por los transductores T1-TN, pero los puntos de recepción en cuestión pueden estar constituidos, dado el caso, por una segunda red de transductores (no representada), distinta de la red de transductores T1-TN.

En el caso general, las ondas acústicas que se generan mediante la emisión de las señales $e_i(t)$ se detectan, por tanto, en M puntos de recepción, siendo M un número entero no nulo, pudiendo coincidir los M puntos de recepción con los N puntos de emisión (en cuyo caso $M = N$), o bien no coincidir totalmente con los puntos de emisión, o bien ser totalmente distintos de los puntos de emisión.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar respuestas impulsionales de un medio (2) con respecto a la transmisión de ondas entre diferentes puntos (T1-TN), procedimiento que comprende:

- (a) al menos una etapa de emisión en el transcurso de la cual se emiten ondas en el medio (2) generando señales $e_i(t)$ a partir de un número N de puntos de emisión (T1-TN) pertenecientes al medio, siendo N un número entero al menos igual a 2 e i un índice comprendido entre 1 y N que designa uno de dichos N puntos de emisión,
- (b) al menos una etapa de recepción en el transcurso de la cual se detectan señales $r_j(t)$ a partir de dichas ondas tras la transmisión en dicho medio, en un número M de puntos de recepción (T1-TN) pertenecientes al medio, siendo M un entero natural no nulo y j un índice comprendido entre 1 y M que designa uno de dichos M puntos de recepción,
- (c) y al menos una etapa de determinación de dichas respuestas impulsionales $h_{ij}(t)$ entre cada punto de emisión i y cada punto de recepción j a partir de las señales emitidas $e_i(t)$ y detectadas $r_j(t)$,

caracterizado porque en el transcurso de la etapa (a), se emiten simultáneamente las señales $e_i(t)$ por dichos N puntos de emisión (T1-TN), teniendo estas señales $e_i(t)$ una duración T y siendo, cada una, una suma de n señales elementales sensiblemente monocromáticas, de igual amplitud y de frecuencias respectivas $f_{0,i} + k \cdot \delta f$, siendo $f_{0,i}$ una frecuencia determinada propia del punto i, k un número entero comprendido entre 0 y n, n un número entero al menos igual a 2 y δf un paso de frecuencia determinado, siendo las frecuencias $f_{0,i}$ respectivas propias de los diferentes puntos i distintas y estando comprendidas en una banda de frecuencias de ancho δf ,

y porque en el transcurso de la etapa (c), se calcula cada respuesta impulsional $h_{ij}(t)$ a partir de una señal de correlación entre la señal $e_i(t)$ emitida en el punto i y la señal $r_j(t)$ detectada en el punto j.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que las frecuencias $f_{0,i}$ respectivas propias de los diferentes puntos i se separan de dos en dos una distancia $\delta f/N$.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que, en el transcurso de la etapa (c), dicha señal de correlación se divide en intervalos por medio de una función rectangular $n(t)$ de ancho $1/\delta f$.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que en el transcurso de la etapa (c), las respuestas impulsionales $h_{ij}(t)$ se determinan mediante la fórmula:

$$h_{ij}(t) = \Pi(t) \cdot \int e_i(\theta - t) \cdot r_j(\theta) d\theta$$

5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las ondas transmitidas en el medio entre los puntos de emisión y los puntos de recepción son ondas acústicas.

6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que en el transcurso de la etapa (a), el medio en el que se emiten las ondas es reverberante.

7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el paso de frecuencia δf es inferior o igual a $1/\tau$, siendo τ la dispersión en el tiempo del medio.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que el paso de frecuencia δf es sensiblemente igual a $1/\tau$, siendo τ la dispersión en el tiempo del medio.

9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la duración T es al menos igual a $N/\delta f$.

10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la duración T es al menos igual a $N \cdot \tau$, siendo τ la dispersión en el tiempo del medio.

11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las señales elementales presentan fases aleatorias.

12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las ondas se emiten con una determinada banda de paso, las frecuencias $f_{0,i}$ comprenden una frecuencia mínima f_0 y el número n está determinado para que la banda de frecuencia comprendida entre f_0 y $f_0 + [(n+1) \cdot \delta f]$ cubra sensiblemente dicha banda de paso.

13. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los puntos de recepción coinciden con los puntos de emisión (T1-TN).

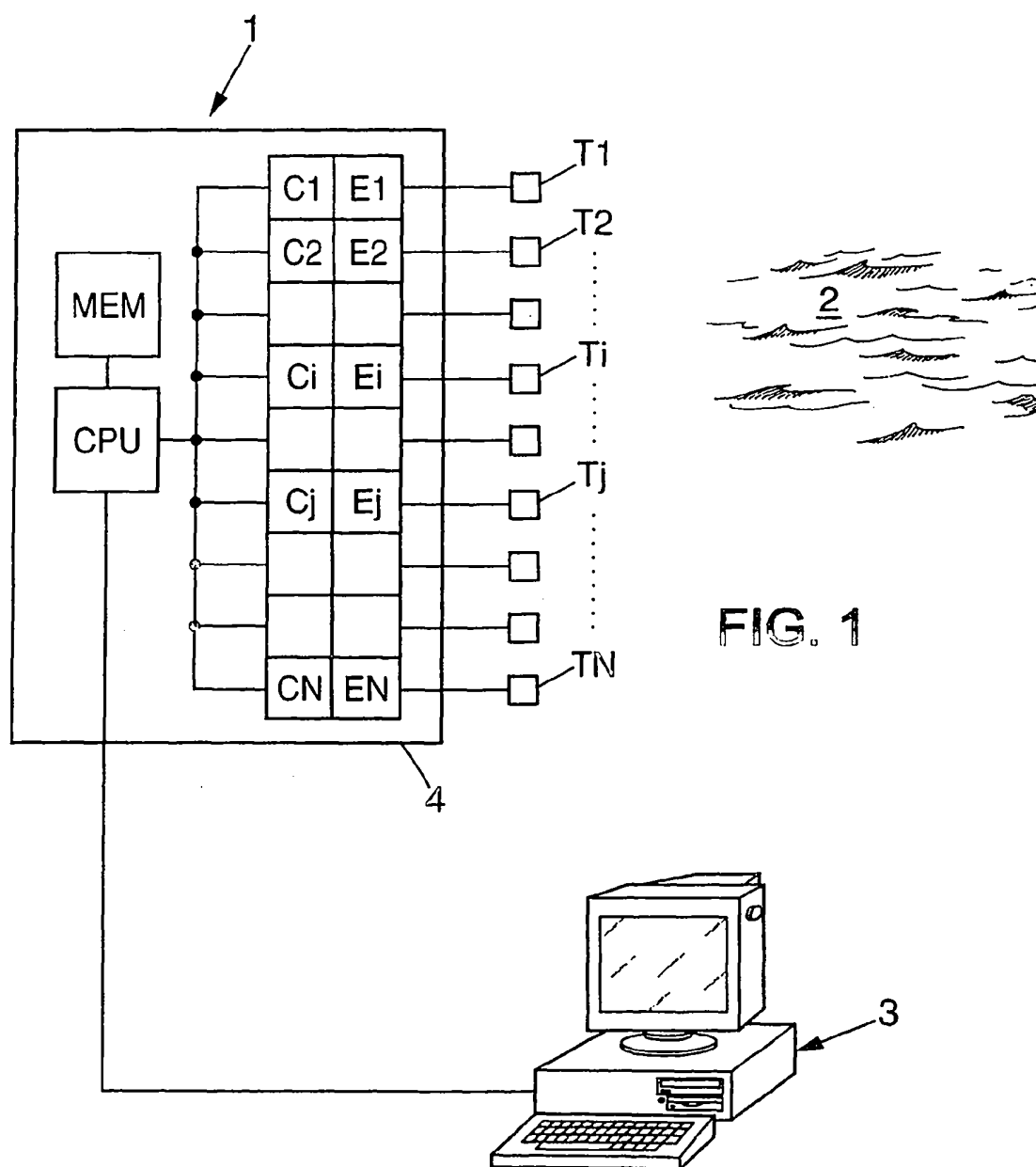


FIG. 1