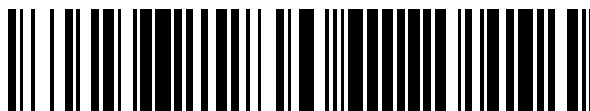


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 627**

51 Int. Cl.:

**A61B 8/00** (2006.01)

**A61B 8/08** (2006.01)

**G01S 7/52** (2006.01)

**G01S 15/89** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.02.2015 PCT/EP2015/054002**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2015 WO15128409**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2015 E 15707106 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2019 EP 3110334**

54 Título: **Procedimiento de imágenes por onda de cizalla e instalación para generar al menos una onda de cizalla**

30 Prioridad:

**26.02.2014 EP 14305267**

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

**13.07.2020**

73 Titular/es:

**INSTITUT NATIONAL DE LA SANTÉ ET DE LA RECHERCHE MÉDICALE (33.3%)**

**101, rue de Tolbiac**

**75013 Paris, FR;**

**UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1 (33.3%)**

**y**

**CENTRE LÉON-BÉRARD (33.3%)**

72 Inventor/es:

**CATHELIN, STEFAN;**

**SOUCHON, RÉMI;**

**ZORGANI, ALI y**

**CHAPELON, JEAN-YVES**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 773 627 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 de imágenes por onda de cizalla e instalación para generar al menos una onda de cizalla

**5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION**

**[0001]** Esta invención se refiere a un procedimiento para generar al menos una onda de cizalla en una región diana de un sólido blando. Esta invención también se refiere a un procedimiento de imágenes por onda de cizalla y a un procedimiento de mapeo térmico para recolectar información sobre una región diana de un sólido blando. Esta invención también se refiere a un procedimiento para tratar térmicamente una región diana de un alimento. Esta invención también se refiere a una instalación para generar al menos una onda de cizalla en una región diana de un sólido blando, con dicha instalación siendo útil para implementar los procedimientos antes mencionados.

**[0002]** En el sentido de la presente invención, un sólido blando es un tejido orgánico, que puede tener un origen animal o vegetal. Por ejemplo, dicho sólido blando puede ser un órgano de un cuerpo humano, de un cuerpo animal o de un vegetal. Un sólido blando también puede ser un alimento, por ejemplo, queso, o una parte no metálica de una prótesis, hecha de un material natural o sintético.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

**[0003]** La elastografía por onda de cizalla ha sido conocida por varios años como una técnica eficiente para detectar una inhomogeneidad de elasticidad en un sólido blando, como un tumor. Esta técnica se basa en la detección de velocidades de propagación de ondas de cizalla. Dicha detección se puede basar en una tecnología ultrasónica o en una tecnología de imágenes de resonancia magnética (IRM).

**[0004]** Las ondas de cizalla también pueden usarse para aumentar localmente la temperatura de un sólido blando. Esto puede usarse como una base para un procedimiento de mapeo térmico o para un procedimiento para tratar térmicamente una región diana de un sólido blanco, incluyendo los aspectos no terapéuticos en el caso de un sólido blando no vivo, como un queso o una parte de una prótesis.

**[0005]** En un sólido blando, las ondas de cizalla se propagan a una velocidad en el intervalo de 1 a varios metros por segundo (m/s) y esta velocidad se puede usar para caracterizar una región diana de un sólido blando, ya que el patrón de velocidad de estas ondas permite generar imágenes que representan el módulo elástico de cizalla de esta región diana. Este módulo elástico de cizalla corresponde aproximadamente a la elasticidad que puede enviarse mediante la palpación y oscila de unos pocos cientos de Pa a unos pocos miles de kPa.

**[0006]** En el campo de la física terapéutica, un artículo publicado en Physical Review Letters (PRL 100, 064 301 (2008)), titulado «Time inversal of elastic waves in soft solids» por Catheline y col. Enseña que una onda de cizalla generada por un único generador y que se propaga dentro de un simulador de agar-gelatina puede someterse a una inversión de tiempo. La agar-gelatina puede usarse desde un punto de vista teórico, pero dicho material no representa los sólidos blandos que se podrían usar para las aplicaciones prácticas e industriales. Esto deriva de la característica de amortiguación de los sólidos blandos reales, con respecto a las ondas de cizalla. Esta característica de amortiguación hace que este procedimiento conocido sea relativamente impreciso.

**[0007]** Además, este procedimiento conocido se basa en un comportamiento lineal del simulador de agar-gelatina que constituye el medio a través del cual se propagan las ondas de cizalla. En algunos casos, podría ser necesario obtener un comportamiento no lineal del medio, el cual no puede obtenerse con los procedimientos conocidos porque el nivel de tensión inducida no es suficientemente alto como para esto. En realidad, por su tecnología intrínseca, ninguno de los procedimientos de elastografía comercial es capaz de entregar una amplitud de onda de cizalla en el régimen no lineal.

**[0008]** De hecho, el comportamiento lineal del medio es una aproximación simplista del comportamiento real de un sólido blando que podría no ser suficiente para distinguir dos porciones diferentes de una zona diana. Por ejemplo, un tumor benigno y un tumor maligno podrían presentar el mismo comportamiento elástico, el cual no permite una diferenciación de estos tumores con un procedimiento de imágenes por onda de cizalla en base a un comportamiento elástico del sólido blando. Por el otro lado, un tumor benigno y un tumor maligno pueden presentar diferentes comportamientos no lineales, lo que permite diferenciarlos bajo algunas circunstancias.

**[0009]** Cuando uno necesita aumentar significativamente la temperatura de una región diana de un sólido blando, se producen limitaciones similares. Si el nivel de tensión obtenido con las ondas de cizalla no es suficientemente alto, el aumento de temperatura del medio no será significativo.

**RESUMEN DE LA INVENCION**

**[0010]** Esta invención apunta a resolver los problemas de las técnicas conocidas con un nuevo procedimiento

que es eficiente para generar ondas de cizalla con un nivel de tensión suficientemente alto para obtener un comportamiento no lineal del sólido blando o para aumentar significativamente su temperatura.

**[0011]** A tal fin, la invención se refiere a un procedimiento para generar al menos una onda de cizalla en una región diana de un sólido blando, incluyendo este procedimiento al menos las etapas siguientes:

- a) generar al menos una onda de cizalla en la región diana;
- b) detectar un patrón de propagación de la al menos una onda de cizalla en la región diana;
- c) proceder a una inversión de tiempo del patrón de propagación detectado;
- 10 d) someter la región diana a un conjunto de fuerzas de excitación en base al patrón de propagación invertido temporalmente.

Este procedimiento se caracteriza porque:

- 15 - la etapa a) se implementa mediante la generación de al menos dos ondas de cizalla con al menos una primera fuente de ondas de cizalla y al menos una segunda fuente de ondas de cizalla;
- la etapa b) se implementa con una unidad de detección que incluye:
  - 20 - una fila de transductores ultrasónicos alineados en una primera dirección perpendicular a una dirección de detección de cada transductor ultrasónico o
  - un único transductor ultrasónico que puede moverse a lo largo de una primera dirección perpendicular a su dirección de detección
- durante la etapa b), un primer patrón de propagación se detecta cuando solo la primera fuente está activa y un segundo patrón de propagación se detecta cuando solo la segunda fuente está activa;
- 25 - durante la etapa c), el primero y el segundo patrón de propagación se someten a una inversión de tiempo, de manera independiente entre sí, a fin de generar, respectivamente, un primer esquema de excitación inversa y un segundo esquema de excitación inversa,
- 30 - en la etapa d), la primera fuente se controla con el primer esquema de excitación inversa para generar al menos una primera onda de cizalla modificada y, simultáneamente, la segunda fuente se controla con el segundo esquema de excitaciones inversas para generar al menos una segunda onda de cizalla modificada, mientras que las ondas de cizalla se concentran en un punto dado de la región diana.

**[0012]** Gracias a la invención, las ondas de cizalla modificadas se originan a partir de la primera y la segunda fuente, combinadas entre sí, y pueden optimizarse a fin de concentrarse en un punto dado de la región diana, independientemente de la geometría real y del comportamiento lineal del sólido blando. En particular, este procedimiento puede usarse con un medio de amortiguación que es más representativo de los sólidos blandos reales usados en las aplicaciones prácticas que el simulador de agar-gelatina. Los altos niveles de tensión se pueden obtener en la zona diana del sólido blando a fin de obtener un comportamiento no elástico, el cual puede detectarse fácilmente en el marco de un procedimiento de imágenes por onda de cizalla. Además, como es posible obtener altos niveles de concentración de ondas de cizalla, también es posible obtener un aumento sustancial en la temperatura de la zona diana, lo que puede resultar útil para un procedimiento de mapeo térmico o un procedimiento de tratamiento térmico de una región diana de un sólido blando.

**[0013]** Según otros aspectos de la invención que son ventajosos, pero no obligatorios, el procedimiento podría incorporar una o varias de las características siguientes, tomadas en cualquier configuración técnicamente admisible:

- Para cada transductor ultrasónico de la fila o para cada posición del único transductor ultrasónico móvil a lo largo de una primera dirección, se definen varios puntos, en diferentes distancias del transductor ultrasónico a lo largo de su dirección de detección y, durante la etapa b), para el primer patrón de propagación, un primer desplazamiento del sólido blando a lo largo de la dirección de detección es detectado por el transductor ultrasónico, en cada punto y en varios momentos de tiempo en un primer período de tiempo predeterminado, cuando solo la primera fuente está activa, mientras que, para el segundo patrón de propagación, un segundo desplazamiento del sólido blando a lo largo de la dirección de detección es detectado por el transductor ultrasónico, en cada punto y en varios momentos de tiempo en un segundo período de tiempo predeterminado, cuando solo la segunda fuente está activa.
- 50 - Durante la etapa b) y para cada uno de dichos primero y segundo patrón de propagación, se construye un conjunto de datos tridimensionales, el cual incluye datos relacionados con los desplazamientos detectados, para cada transductor ultrasónico de la fila de transductores ultrasónicos o para cada posición del único transductor ultrasónico móvil, para cada punto a lo largo de la dirección de detección del transductor ultrasónico y para cada momento de tiempo en el primero o el segundo período de tiempo predeterminado.
- 60 - El número de transductores ultrasónicos o el número de posiciones del único transductor ultrasónico móvil a lo largo de la primera dirección está entre 2 y 4096, preferentemente entre 64 y 512, más preferentemente igual a o alrededor de 128; el número de puntos definido para cada transductor ultrasónico o cada posición está entre 10 y 10000, preferentemente entre 40 y 400, más preferentemente igual a o alrededor de 150; y la diferencia de tiempo entre dos momentos de tiempo sucesivos de dicho primero y segundo período de tiempo predeterminado está
- 65

entre 0,1 y 20 ms, preferentemente entre 0,5 y 2 ms, más preferentemente 1 ms.

- El procedimiento incluye una etapa adicional e) implementada después de la etapa b) y antes de la etapa d) y consiste en cambiar un parámetro de frecuencia de al menos un patrón de propagación detectado.

5 **[0014]** La invención también se refiere a un procedimiento de imágenes por onda de cizalla para recolectar información sobre una región diana de un sólido blando, comprendiendo este procedimiento al menos las siguientes etapas:

- 10 - m) implementar un procedimiento como se mencionó anteriormente en esta invención para generar un conjunto de ondas de cizalla combinadas en la región diana,  
- n) detectar el patrón de propagación de las ondas de cizalla combinadas en la región diana.

**[0015]** Este procedimiento es más eficiente que los procedimientos conocidos, ya que las ondas de cizalla combinadas en la región diana pueden ser más intensas, al punto en que permiten obtener un comportamiento no lineal de la región diana. A este respecto, la etapa d) del procedimiento para generar la al menos una onda de cizalla ventajosamente resulta en un comportamiento no lineal de la región diana.

**[0016]** La etapa n) se implementa preferentemente con la misma unidad de detección que la etapa b). De manera alternativa, la etapa n) se implementa con un dispositivo de IRM o TCO (tomografía de coherencia óptica).

20 **[0017]** La invención también se refiere a un procedimiento de mapeo térmico para recolectar información sobre una región diana de un sólido blando, comprendiendo este procedimiento al menos las siguientes etapas:

- 25 - m) implementar un procedimiento como se mencionó anteriormente en esta invención para generar un conjunto de ondas de cizalla combinadas en la región diana,  
- p) detectar un patrón de temperatura en la región diana.

**[0018]** La invención también se refiere a un procedimiento para tratar térmicamente una región diana de un alimento, comprendiendo este procedimiento al menos una etapa m) de implementar un procedimiento como se mencionó anteriormente en esta invención, para generar un conjunto de ondas de cizalla combinadas en la región diana, donde la etapa de sometimiento al conjunto de fuerzas de excitación se implementa durante un período de tiempo tal que se obtiene un aumento de temperatura significativo.

30 **[0019]** En el procedimiento de mapeo térmico y en el procedimiento de tratamiento térmico antes mencionado en esta invención, la etapa d) del procedimiento para generar la al menos una onda de cizalla se implementa ventajosamente durante un período de tiempo de al menos 10 ms.

**[0020]** Además, en el procedimiento de imágenes por onda de cizalla, el procedimiento de mapeo térmico y el procedimiento para el tratamiento térmico de la invención, las etapas a) a d) pueden repetirse en varias ubicaciones del o los transductores ultrasónicos a lo largo de una segunda dirección que es perpendicular a la primera dirección y a la dirección de detección de cada transductor ultrasónico.

40 **[0021]** Por último, la invención se refiere a una instalación para generar al menos una onda de cizalla en una región diana de un sólido blando, comprendiendo esta instalación al menos una primera fuente para generar al menos una primera onda de cizalla en la región diana, una unidad de detección para detectar un primer patrón de propagación de la al menos una primera onda de cizalla y medios de computación para revertir el tiempo del patrón de propagación detectado. Esta instalación se caracteriza porque:

- 50 - la instalación comprende al menos una segunda fuente para generar al menos una segunda onda de cizalla en la región diana;  
- la unidad de detección es capaz de detectar un segundo patrón de propagación de la al menos una segunda onda de cizalla;  
- la unidad de detección incluye:

- 55 - una fila de transductores ultrasónicos alineados en una primera dirección perpendicular a la dirección de detección de cada transductor ultrasónico; o  
- un único transductor ultrasónico que puede moverse a lo largo de una primera dirección perpendicular a la dirección de detección;

- 60 - la primera y la segunda fuente y el medio de control asociado están configurados para generar sucesivamente al menos una primera onda de cizalla y la al menos una segunda onda de cizalla en la región diana;  
- la unidad de detección está configurada para detectar el primero y el segundo patrón de propagación de manera independiente entre sí y respectivamente, cuando la al menos una primera onda de cizalla se genera y cuando la al menos una segunda onda de cizalla se genera en la región diana;

- 65 - los medios de computación están configurados para proceder a una inversión de tiempo del primero y el segundo

patrón de propagación, independientemente entre sí, y para generar un primer esquema de excitación inversa y un segundo esquema de excitación inversa;

- la primera fuente se adapta para generar al menos una primera onda de cizalla modificada, cuando se controla sobre la base del primer esquema de excitación inversa, y la segunda fuente se adapta para generar, al mismo tiempo, al menos una segunda onda de cizalla modificada, cuando se controla sobre la base del segundo esquema de excitación inversa, y tanto la primera como la segunda fuente se adaptan para concentrar las ondas de cizalla modificadas en un punto dado de la región diana.

**[0022]** Ventajosamente, la fila de transductores ultrasónicos y/o el único transductor ultrasónico móvil se puede mover a lo largo de una segunda dirección perpendicular a la primera dirección y a la dirección de detección de cada transductor ultrasónico, o la fila de transductores ultrasónicos pertenece a un dispositivo transductor bidimensional.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

**[0023]** La invención se entenderá mejor sobre la base de la descripción siguiente que se proporciona en correspondencia con las figuras adjuntas y como un ejemplo ilustrativo, sin restringir el objeto de la invención.

**[0024]** En las figuras adjuntas:

- la figura 1 es una representación esquemática de una instalación según la invención,
- la figura 2 es una vista ampliada del detalle II en la figura 1,
- la figura 3 es una representación esquemática de un patrón de propagación de una onda de cizalla en la instalación de las figuras 1 y 2,
- la figura 4 es una representación, con el tiempo, de un patrón de propagación para un detector ultrasónico de la instalación de las figuras 1 y 2, y
- la figura 5 es un diagrama de bloque de un procedimiento de la invención.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE ALGUNAS REALIZACIONES

**[0025]** La instalación 2 representada en las figuras 1 y 2 incluye un generador de corriente alternativa 4 que se conecta a tres fuentes de ondas de cizalla 62, 64 y 66 mediante las líneas de conexión respectivas 72, 74 y 76, a través de las cuales viaja una señal de control S62, S64 y S66. Cada una de las fuentes de onda de cizalla se hace con un vibrador de pistón e incluye una vara recíproca 68 conectada a un pistón no representado que se incluye en una carcasa de la fuente de onda de cizalla.

**[0026]** La instalación 2 también incluye una caja 8 donde se alberga un sólido blando S. La caja 8 es opcional y puede omitirse si el sólido blando S se sostiene solo. Un sólido blando S puede ser de una porción de un cuerpo animal, como un músculo o un cerebro, o cualquier otro sólido blando mencionado anteriormente en esta invención.

**[0027]** Las fuentes de onda de cizalla 62, 64 y 68 se montan de manera fija en la caja 8, con sus respectivas varas 68 en contacto con una superficie del sólido blando S. La ubicación de las fuentes 62, 64 y 66 se mantiene para todas las etapas del procedimiento de la invención.

**[0028]** Una matriz 10 de ciento veintiocho transductores ultrasónicos se ubica debajo del sólido blando S. Para cada transductor ultrasónico T1 a T128, uno define su dirección de detección como una dirección vertical D1 a D128 que se dirige hacia arriba desde cada transductor ultrasónico. Por consiguiente, la dirección de detección de cada transductor ultrasónico se orienta hacia el sólido blando S, X10 denota el eje longitudinal de la matriz 10.

**[0029]** X, Y, Z denota un sistema de coordenadas ortogonal con el eje X paralelo al eje X10 y el eje Y paralelo a las direcciones D1 a D128. El centro C de este sistema de coordenadas ortogonales se ubica en el eje X10 en la configuración de la instalación 2, representada en las figuras 1 y 2. Por consiguiente, los ejes X y X10 se superponen. La matriz 10 puede moverse a lo largo del eje Y, mientras que el eje X10 permanece paralelo al eje X.

**[0030]** Para cada transductor ultrasónico Ti, con i siendo un número entero entre 1 y 128, uno define una serie de ciento cincuenta puntos Pi-1, Pi-2, Pi-3... A Pi-150 alineados a lo largo de la dirección de detección Di de este transductor, con cada punto Pi- i ubicado más cerca del transductor ultrasónico Pi que del punto Pi-j+1, con j siendo un número entero entre 1 y 149. En otras palabras, una serie de puntos Pi-j se define arriba de cada transductor Ti, con un valor i entre 1 y 128 y un valor j entre 1 y 150. En la práctica, los puntos Pi-j se distribuyen regularmente a lo largo de cada dirección Di, entre una distancia mínima definida por el punto Pi-1 y una distancia máxima definida por el punto Pi-150. Por consiguiente, como se muestra en la figura 2, una superficie imaginaria SP se define arriba de la matriz de transductores ultrasónicos 10, en un plano definido por los ejes X10 y Z y esta superficie imaginaria incluye un conjunto de 6400 puntos Pi-j, con el valor i entre 1 y 128 y el valor j entre 1 y 150.

**[0031]** Cada transductor ultrasónico Ti está configurado para detectar, en cada punto Pi-j arriba del mismo, un

desplazamiento local del sólido blando S, en una dirección paralela al eje Z.

**[0032]** Por consiguiente, cuando una o más de las fuentes de onda de cizalla 62, 64 y 66 es accionada por el generador 4, la matriz 10 es capaz de detectar un campo de desplazamiento dentro de una superficie imaginaria SP, con este desplazamiento siendo esquemáticamente representado en la figura 3 en un momento de tiempo t1, por encima de la línea de eje X10.

**[0033]** La instalación 2 también incluye un ordenador personal 12 y un escáner de ultrasónico ultrarrápido 14. Los datos de salida de la matriz 10 son reenviados al escáner 14 como una primera señal S10 y, desde el escáner 14 al ordenador personal 12 como una segunda señal, S14. Las señales S10 y S14 transitan a través de conductores eléctricos respectivos o de manera inalámbrica.

**[0034]** Una vez que recibe la señal S14, el ordenador 12 es capaz de alterar los datos recibidos de la matriz 10, como se explica a continuación en esta invención.

**[0035]** Considere un transductor ultrasónico Ti con el valor i entre 1 y 128. En un período de tiempo dado, digamos un segundo, el transductor ultrasónico Ti detecta el desplazamiento a lo largo de la dirección Di en cada punto Pi-j cada un milisegundo. En otras palabras, deben considerarse mil momentos de tiempo tk, con el valor k siendo un número entero entre 1 y 1000, para un período de tiempo predeterminado de un segundo, y cada transductor Ti puede detectar un conjunto de desplazamientos verticales, paralelos a su dirección de detección Di, en cada punto Pi-j y cada momento de tiempo tk. Esto se representa esquemáticamente en las figuras 3 y 4 donde el eje de tiempo en la figura 3 representa la posibilidad de variación con el tiempo t de las curvas representadas en el plano de los ejes X10 y Z. En la figura 4, un campo de desplazamiento, según es percibido por un transductor ultrasónico Ti, se representa en un período de tiempo de un segundo. El plano de la figura 4 es un plano paralelo a los ejes t y Z en la figura 3, con este plano pasando en el medio del transductor Ti. En la figura 3, este plano se identifica mediante dos líneas punteadas.

**[0036]** Si uno necesita concentrar las ondas de cizalla que se originan a partir de las tres fuentes de ondas de cizalla 62, 64 y 66 en un punto dado, es necesario controlar eficientemente cada fuente a través del generador 4. A tal fin, uno implementa el procedimiento de la invención representado en la figura 5.

**[0037]** En una primera etapa 1001, se inician los dispositivos 4, 12 y 14.

**[0038]** En una segunda etapa 1002, el ordenador 12 controla el generador 4 con una señal electrónica S4, a fin de accionar la fuente 62 y no las fuentes 64 y 66. Bajo tales condiciones, solo una fuente de onda de cizalla 62 está activa para generar una o varias ondas de cizalla SW1 en el sólido blando S. Cuando la fuente de onda de cizalla 62 está activa, la matriz de transductores ultrasónicos 10 se acciona a través de una segunda señal S12 emitida por un ordenador 12, a fin de detectar un patrón de propagación de onda de cizalla de la(s) onda(s) de cizalla SW1 que se originan a partir de la fuente 62 y se propagan dentro del sólido blando S. Una región diana se define mediante la superficie imaginaria SP definida arriba de la matriz 10 y donde los transductores Ti pueden detectar la(s) onda(s) de cizalla SW1. El accionamiento de la matriz 10 cuando solo la fuente de ondas de cizalla 62 está activa ocurre durante un período de tiempo predeterminado ΔT1 de un segundo, con un conjunto de datos adquiridos mediante los transductores Ti cada un milisegundo (ms).

**[0039]** Bajo tales circunstancias, uno adquiere un patrón de propagación que es un conjunto de datos que muestran el desplazamiento local en los puntos Pi-j, a lo largo de las direcciones D2 paralelas al eje Z, y para cada momento de tiempo tk entre el momento de tiempo t1 y t1000. En el ejemplo donde i está entre 1 y 128, j entre 1 y 50 y k entre 1 y 1000, el primer patrón de propagación P1, que está esquemáticamente representado en la figura 3, y ha sido adquirido durante el período de tiempo ΔT1 incluye  $128 \times 150 \times 1000 = 19\,200\,000$  valores correspondientes a desplazamientos verticales locales del sólido blando S.

**[0040]** De hecho, el desplazamiento vertical definido anteriormente en esta invención es el componente Z del campo de desplazamiento en un punto Pi-j.

**[0041]**  $\Phi_z$  (Pi-j, tk) denota el componente Z del campo de desplazamiento en el punto Pi-j y el momento de tiempo tk. El conjunto de datos o el patrón de propagación P1 representado en la figura 3 es, en realidad, un conjunto de valores de  $\Phi_z$ .

**[0042]**  $\Phi_z$  se expresa como un producto de convolución de tiempo entre una señal e62 (tk) emitida por una fuente 62 en un momento de tiempo tk, orientada en cualquier dirección d y la respuesta de impulso entre los componentes d y Z de la fuente y el receptor respectivamente, que es hdz (Pi-j, tk). En otras palabras, prevalece la siguiente ecuación

$$\Phi_z (P_i-j, tk) = e_{62} (tk) \otimes hdz (P_i-j, tk) \quad (\text{Ecuación 1})$$

**[0043]** Una vez que el patrón de propagación P1 ha sido detectado en la etapa 1003, la fuente de ondas de cizalla 62 se apaga y la fuente de ondas de cizalla 64 se enciende por acción del generador 4, bajo las instrucciones del ordenador 12, transmitidas a través de la señal S4. A continuación, en una etapa posterior 1004, la fuente de ondas de cizalla 64 genera una o varias ondas de cizalla SW<sub>2</sub> en el sólido blando S. La matriz 10 se acciona para detectar, en una etapa 1005, lo cual ocurre durante un segundo período de tiempo predeterminado ΔT2 de un segundo, un segundo patrón de propagación P2.

**[0044]** A continuación, bajo las instrucciones del ordenador 12, el generador 4 apaga la fuente de ondas de cizalla 64 y alterna a la fuente de ondas de cizalla 66 a fin de implementar dos etapas adicionales 1006 y 1007 respectivamente similares a las etapas 1004 y 1005, y donde un tercer patrón de propagación P3 es detectado durante un tercer período de tiempo predeterminado ΔT3, que también dura un segundo y donde se generan y detectan una o varias ondas de cizalla SW<sub>3</sub>.

**[0045]** Se debe considerar que uno necesita concentrar las ondas de cizalla que se originan respectivamente a partir de las fuentes 62, 64 y 66 en un punto Pi-j de la superficie imaginaria SP. Bajo tales circunstancias, el primer patrón de propagación P1 se invierte temporalmente en una etapa adicional 1008, al nivel del punto Pi-j. Esta inversión es una inversión de tiempo del patrón de propagación P1 en el punto Pi-j. Más

precisamente, la señal de fuente invertida e<sup>TR</sup><sub>62</sub> correspondiente a la fuente 62 para el punto Pi-j y el momento de tiempo tk se configura como igual a

$$e_{62}^{TR} (P_i-j, tk) = \Phi_z(P_i-j, T1-tk) = e_{62} (P_i-j, T1-tk) \otimes hdz (P_i-j, T1-tk) \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde T1 es la duración del primer período predeterminado ΔT1, un segundo en el ejemplo.

**[0046]** Bajo tales circunstancias, el desplazamiento de la onda de cizalla en el punto Pi-j y tk instantáneo se maximiza en el siguiente valor:

$$\Phi_z^{TR}(P_i-j, tk) = \Phi_z(P_i-j, T1-tk) \otimes hdz(P_i-j, tk) \quad (\text{Ecuación 3})$$

**[0047]** P1' denota el resultado de la inversión de tiempo para todos los puntos Pi-j y todos los momentos de tiempo tk. Este conjunto de datos es un esquema de excitación inversa para los puntos Pi-j en una superficie imaginaria SP.

**[0048]** En una etapa adicional 1009, el patrón de propagación P2 se invierte temporalmente, según un enfoque similar al de la etapa 1008, a fin de generar un segundo esquema de excitación inversa P2'.

**[0049]** En incluso otra etapa adicional 1010, el patrón de propagación P3 también se invierte temporalmente, según un enfoque similar al de la etapa 1008, a fin de generar un tercer esquema de excitación inversa P3'.

**[0050]** El orden de las etapas 1008, 1009 y 1010 se puede cambiar. Estas etapas también pueden ocurrir en paralelo, siempre y cuando los patrones de propagación P1, P2 y P3 sean inversos temporalmente, de manera independiente entre sí.

**[0051]** En la figura 1, por cuestiones de simpleza, solo el patrón de propagación 1 está representado arriba del ordenador 12. En realidad, como se mencionó anteriormente en esta invención, el ordenador 12 está configurado para generar y computar los patrones de propagación P1 a P3 y los esquemas de excitación inversa P1' a P3'.

**[0052]** Posteriormente, las fuentes de onda de cizalla 62, 64 y 66 son accionadas simultáneamente por el generador 4 en una etapa 1011, sobre la base de los esquemas de excitación inversa P1', P2' y P3'. Con este enfoque, las ondas de cizalla modificadas SW'<sub>1</sub>, SW'<sub>2</sub> y SW'<sub>3</sub> que se originan respectivamente a partir de las fuentes 62, 64 y 66 en la etapa 1011 se combinan o concentran en cada punto Pi-j de la superficie imaginaria SP, como se muestra en la figura 1, que representa la instalación 2 en la etapa 1011. Bajo estas condiciones, si uno necesita concentrar las ondas de cizalla en un punto Pi-j, uno usa los tres esquemas de excitación inversa para este punto, ya que las fuentes 62, 64 y 66 se adaptan para concentrar las ondas de cizalla SW'<sub>1</sub>, SW'<sub>2</sub> y SW'<sub>3</sub> en dicho punto dado.

**[0053]** Por consiguiente, el procedimiento de las etapas 1001 a 1011 permite generar ondas de cizalla modificadas  $SW'_1$ ,  $SW'_2$  and  $SW'_3$  concentradas en cualquier punto  $Pi-j$  escogido, con un alto nivel de energía, lo que permite obtener un comportamiento no lineal del sólido blando S en este punto.

5

**[0054]** En la etapa 1011, un punto  $Pi-j$  de una superficie imaginaria SP se somete a un conjunto de fuerzas de excitación invertida, inducidas por las ondas de cizalla modificadas  $SW'_1$ ,  $SW'_2$  y  $SW'_3$  originadas a partir de las fuentes 62, 64 y 66. Este conjunto de fuerzas de excitación se basa en los patrones de propagación invertidos temporalmente  $P1'$ ,  $P2'$  y  $P3'$  y es transportado por las ondas de cizalla modificadas  $SW'_1$ ,  $SW'_2$  y  $SW'_3$ .

10

**[0055]** Esto se puede usar en el marco de un procedimiento de imágenes por onda de cizalla, donde una etapa 1012 se implementa simultáneamente con la etapa 1011 y donde el patrón de propagación Q de las ondas de cizalla dentro del sólido blando S se detectan con una matriz de transductores ultrasónicos 10, según un enfoque similar al de las etapas 1003, 1005 y 1007. En otras palabras, la misma matriz 10 se usa para las etapas de aprendizaje 1003, 1005 y 1007, y para la etapa real de detección de imágenes por onda de cizalla 1012.

15

**[0056]** De manera alternativa, es posible usar un dispositivo de IRM o TCO en la etapa 1012.

**[0057]** Según otro enfoque, las etapas 1001 a 1011 se pueden usar en el marco de un procedimiento de mapeo térmico, a fin de generar, en un punto  $Pi-j$  dado, algunas ondas de cizalla  $SW'_1$ ,  $SW'_2$  y  $SW'_3$ , lo que resulta en un aumento de temperatura en este punto. A continuación, se puede usar cualquier dispositivo de detección adecuado, como un dispositivo ultrasónico, un dispositivo de IRM o un dispositivo de TCO, para detectar el patrón de temperatura de la región diana, por ejemplo, una región correspondiente a la superficie imaginaria SP.

20

**[0058]** Según otro enfoque, el procedimiento de las etapas 1001 a 1011 puede usarse a fin de tratar térmicamente una región diana de un sólido blando, es decir, para aumentar localmente la temperatura del sólido blando, a fin de obtener un efecto deseado. Tal puede ser el caso para calentar una parte de un alimento. Esto también se puede usar para curar un órgano vivo, sin embargo, esto no forma parte de la invención.

25

**[0059]** En el procedimiento de mapeo térmico y en el procedimiento de tratamiento térmico, la etapa 1011 se implementa durante un período de tiempo de al menos 10 ms segundos, preferentemente al menos 10s segundos a fin de obtener un aumento de temperatura significativo.

30

**[0060]** Según una realización alternativa no representada de la invención, uno puede usar, en lugar de la matriz 10, un único transductor que puede moverse a lo largo del eje X.

35

**[0061]** El procedimiento de las etapas 1001 a 1012 se explicó anteriormente en esta invención; en el caso de la matriz 10, se usa para una región diana definida por la superficie imaginaria SP. En realidad, este procedimiento y el procedimiento de imágenes por onda de cizalla, el procedimiento de mapeo térmico y el procedimiento para el tratamiento térmico de una región diana correspondientes, se pueden usar para una región diana definida por el volumen predeterminado dentro de un sólido blando S. En ese caso, la matriz 10 se puede mover a lo largo del eje Y, con su eje longitudinal X10 permaneciendo paralelo al eje X. Esto permite implementar las etapas 1002 a 1012 en diferentes ubicaciones de la matriz 10 a lo largo del eje Y. En tal caso, un procedimiento según la invención incluye una etapa adicional 1013, donde la matriz 10 se mueve de una etapa predeterminada a lo largo del eje Y. A continuación, el procedimiento se reinicia en la etapa 1002. Una vez que todas las posiciones necesarias para cubrir el volumen predeterminado han sido alcanzadas a lo largo del eje Y, el procedimiento se detiene en la etapa 1014.

40

**[0062]** Según incluso otra realización de la invención, en lugar de usar una única matriz 10, se pueden instalar varias de tales matrices una junto a la otra a lo largo del eje Y. Estas matrices se pueden usar una después de la otra, lo cual se implementa en una etapa equivalente a la etapa 1013 donde, en lugar de mover la matriz 10, uno alterna de una matriz a la otra.

50

**[0063]** De manera alternativa, se puede usar un dispositivo transductor bidimensional que incluya filas y columnas de transductores ultrasónicos respectivamente alineados a lo largo de direcciones paralelas al eje X e Y.

55

**[0064]** La invención no depende de la ubicación precisa de las fuentes de onda de cizalla 62, 64 y 66 con respecto a la caja 8 y el sólido blando S. En realidad, como los patrones de propagación  $P1$  a  $P3$  se recolectan una vez que estas fuentes han sido instaladas de manera fija con respecto al sólido blando S, la inversión de tiempo de estos patrones se efectúa sobre la base de los datos recolectados con las posiciones reales de estas fuentes, de modo tal que estas posiciones se tomen en cuenta para generar los esquemas de excitación inversa  $P1'$ ,  $P2'$  y  $P3'$ . En otras palabras, el procedimiento de la invención se adapta automáticamente con respecto a las posiciones reales de las fuentes de onda de cizalla con respecto al sólido blando.

60

**[0065]** El procedimiento descrito anteriormente en esta invención, en el caso uno, usa tres fuentes de onda de cizalla. Trabaja con dos fuentes de onda de cizalla o con un número de fuentes de onda de cizalla mayores o iguales

65



a 4. En la práctica, el número de fuentes de onda de cizalla se escoge ventajosamente entre 8 y 64, preferentemente entre 10 y 15.

5 **[0066]** El número real de transductores ultrasónicos  $T_i$  de la matriz 10 puede estar entre 2 y 4096, preferentemente entre 64 y 512, con el valor de 128 siendo preferible, ya que corresponde a los productos disponibles en el mercado, por ejemplo, de la compañía Philips, con la referencia de matriz lineal ATL L7-4.

10 **[0067]** El número de puntos  $P_{i-j}$  definido en la dirección de detección  $D_i$  de un transductor ultrasónico  $T_i$  está entre 10 y 10000, preferentemente entre 40 y 400. El valor de 150 es muy conveniente en la práctica.

**[0068]** El intervalo de tiempo entre dos momentos de tiempo sucesivos  $t_k$  puede ser diferente de 1 ms. El mismo se escoge de entre 0,1 y 10 ms, preferentemente entre 0,5 y 2 ms, dependiendo de las duraciones reales  $T_1$ ,  $T_2$ , etc. del período de tiempo usado.

15 **[0069]** Según un aspecto opcional de la invención, que no está representado en la figura 5, el procedimiento incluye una etapa adicional, entre la etapa 1003 y la etapa 1012, donde se cambia un parámetro de frecuencia del patrón de propagación  $P_1$ . Pueden existir etapas similares para los patrones de propagación  $P_2$  y  $P_3$ . Esto permite eliminar o mejorar algunos armónicos de los patrones de propagación. Manipular el contenido de frecuencia de las ondas de cizalla puede mejorar la eficiencia de la concentración.

20 **[0070]** Las realizaciones y las realizaciones alternativas consideradas anteriormente en esta invención se pueden combinar para generar nuevas realizaciones de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para generar al menos una onda de cizalla en una región diana (SP) de un sólido blando (S), incluyendo este procedimiento al menos las siguientes etapas:

- 5
- a) generar (1002, 1004, 1006) al menos una onda de cizalla ( $SW_1, SW_2, SW_3$ ) en la región diana;
  - b) detectar (1003, 1005, 1007) un patrón de propagación (P1, P2, P3) de la, al menos, una onda de cizalla en la región diana;
  - c) proceder (1008) a una inversión de tiempo del patrón de propagación detectado;
  - 10 d) someter (1011) la región diana a un conjunto de fuerzas de excitación en base al patrón de propagación invertido temporalmente,

**caracterizado porque:**

- 15
- la etapa a) (1002, 1004) se implementa mediante la generación de al menos dos ondas de cizalla ( $SW_1, SW_2$ ) con al menos una primera fuente (62) de ondas de cizalla ( $SW_1, SW'_1$ ) y al menos una segunda fuente (64) de ondas de cizalla ( $SW_2, SW'_2$ );
  - la etapa b) se implementa con una unidad de detección (10) que incluye:
- 20
- una fila (10) de transductores ultrasónicos ( $T_i$ ) alineados en una primera dirección (X10) perpendicular a la dirección de detección ( $D_i$ ) de cada transductor ultrasónico o
  - un único transductor ultrasónico que puede moverse a lo largo de una primera dirección (X) perpendicular a la dirección de detección
- 25
- durante la etapa b), un primer patrón de propagación (P1) se detecta (1003) cuando solo la primera fuente (62) está activa y un segundo patrón de propagación (P2) se detecta (1005) cuando solo la segunda fuente (64) está activa;
  - durante la etapa c), el primero y el segundo patrón de propagación (P1, P2) se someten a una inversión de tiempo (1008, 1009) de manera independiente entre sí, a fin de generar, respectivamente, un primer esquema de excitación inversa (P1') y un segundo esquema de excitación inversa (P2'),
- 30
- durante la etapa d), la primera fuente (62) se controla (1011) con el primer esquema de excitación inversa (P1') para generar al menos una primera onda de cizalla modificada ( $SW'_1$ ), y, simultáneamente, la segunda fuente (64) se controla con el segundo esquema de excitación inversa (P2') para generar al menos una segunda onda de cizalla modificada ( $SW'_2$ ), mientras que las ondas de cizalla se concentran en un punto dado ( $P_i-j$ ) de la región diana.
- 35

2. El procedimiento según la reivindicación 1, donde, para cada transductor ultrasónico ( $T_i$ ) de la fila (10) o para cada posición del único transductor ultrasónico móvil a lo largo de la primera dirección (X10), se definen varios puntos ( $P_i-j$ ), en diferentes distancias del transductor ultrasónico a lo largo de su dirección de detección ( $D_i$ ) y, durante la etapa b),

- 45
- para el primer patrón de propagación (P1), un primer desplazamiento del sólido blando a lo largo de la dirección de detección ( $D_i$ ) es detectado por el transductor ultrasónico ( $T_i$ ), en cada punto ( $P_i-j$ ) y en varios momentos de tiempo ( $t_k$ ) en un primer período de tiempo predeterminado ( $\Delta T_1$ ), cuando solo la primera fuente (62) está activa,
  - para el segundo patrón de propagación (P2), un segundo desplazamiento del sólido blando a lo largo de la dirección de detección ( $D_i$ ) es detectado por el transductor ultrasónico ( $T_i$ ), en cada punto ( $P_i-j$ ) y en varios momentos de tiempo ( $t_k$ ) en un segundo período de tiempo predeterminado ( $\Delta T_2$ ), cuando solo la segunda fuente (64) está activa.

3. El procedimiento según la reivindicación 2, donde, durante la etapa b) y para cada uno de dichos primero y segundo patrones de propagación (P1, P2), se construye un conjunto de datos tridimensionales, el cual incluye datos relacionados a los desplazamientos detectados

- 55
- para cada transductor ultrasónico ( $T_i$ ) de la fila de transductores ultrasónicos (10) o para cada posición del único transductor ultrasónico móvil,
  - para cada punto ( $P_i-j$ ) a lo largo de la dirección de detección ( $D_i$ ) del transductor ultrasónico y
  - para cada momento de tiempo ( $t_k$ ) en el primero o el segundo período de tiempo predeterminado ( $\Delta T_1, \Delta T_2$ ).

4. El procedimiento según las reivindicaciones 2 y 3, donde:

- 60
- el número de transductores ultrasónicos ( $T_i$ ) o el número de posiciones del único transductor ultrasónico móvil a lo largo de la primera dirección (X) está entre 2 y 4096, preferentemente entre 64 y 512, más preferentemente igual a o alrededor de 128;
  - el número de puntos ( $P_i-j$ ) definido para cada transductor ultrasónico o cada posición está entre 10 y 10000, preferentemente entre 40 y 400, más preferentemente igual a o alrededor de 150; y
- 65

- la diferencia de tiempo entre dos momentos de tiempo sucesivos de dicho primero y segundo período de tiempo predeterminado está entre 0,1 y 10 ms, preferentemente entre 0,5 y 2 ms, más preferentemente 1 ms.

5. Un procedimiento según cualquier reivindicación anterior, donde el mismo incluye una etapa adicional implementada después de la etapa b) y antes de la etapa d) y que consiste en:  
e) cambiar un parámetro de frecuencia de al menos un patrón de propagación detectado (P1, P2).

6. Procedimiento de imágenes por onda de cizalla para recolectar información sobre una región diana de un sólido blando, comprendiendo este procedimiento al menos las siguientes etapas:

- m) implementar un procedimiento (1001-1011) según una de las reivindicaciones anteriores para generar un conjunto de ondas de cizalla combinadas (SW'<sub>1</sub>, SW'<sub>2</sub>, SW'<sub>3</sub>) en la región diana (SP),
- n) detectar (1012) un patrón de propagación (Q) de las ondas de cizalla combinadas en la región diana.

7. Un procedimiento según la reivindicación 6, donde la etapa d) del procedimiento para generar la, al menos una, onda de cizalla resulta en un comportamiento no lineal de la región diana (SP).

8. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 6 y 7, donde la etapa b) se implementa con la misma unidad de detección (10) como la etapa a).

9. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 6 y 7, donde la etapa n) se implementa con un dispositivo de IRM o TCO.

10. Procedimiento de mapeo térmico para recolectar información sobre una región diana de un sólido blando, comprendiendo este procedimiento al menos las siguientes etapas:

- m) implementar un procedimiento (1001-1011) según una de las reivindicaciones 1 a 5 para generar un conjunto de ondas de cizalla combinadas (SW'<sub>1</sub>, SW'<sub>2</sub>, SW'<sub>3</sub>) en la región diana,
- n) detectar un patrón de temperatura de la región diana.

11. Procedimiento para tratar térmicamente una región diana de un alimento, comprendiendo este procedimiento al menos la etapa siguiente:

- m) implementar un procedimiento (1001-1011) según una de las reivindicaciones 1 a 5 para generar un conjunto de ondas de cizalla (SW'<sub>1</sub>, SW'<sub>2</sub>, SW'<sub>3</sub>) combinadas en la región diana, donde la etapa 1011 se implementa durante un período de tiempo tal que se obtiene un aumento de temperatura significativo.

12. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 10 y 11, donde la etapa d) del procedimiento para generar la, al menos una, onda de cizalla se implementa durante un período de tiempo de al menos 10 ms segundos.

13. Un procedimiento según una de las reivindicaciones 6 a 12, donde las etapas a) a d) se repiten en varias ubicaciones del o los transductores ultrasónicos (Ti) a lo largo de una segunda dirección (Y) perpendicular a la primera dirección (X) y a la dirección de detección (Di) de cada transductor ultrasónico.

14. Instalación para generar al menos una onda de cizalla en una región diana (SP) de un sólido blando, comprendiendo esta instalación:

- al menos una primera fuente (62) para generar al menos una onda de cizalla (SW<sub>1</sub>) en la región diana;
- la unidad de detección (10) para detectar un primer patrón de propagación (P1) de la al menos una primera onda de cizalla;
- medios de computación (12) para someter el patrón de propagación detectado a una inversión de tiempo,

**caracterizado porque:**

- la instalación comprende al menos una segunda fuente (64) para generar al menos una segunda onda de cizalla (SW<sub>2</sub>) en la región diana;
- la unidad de detección es capaz de detectar un segundo patrón de propagación (P2) de la, al menos una, segunda onda de cizalla;
- la unidad de detección (10) incluye:

- una fila de transductores ultrasónicos (Ti) alineados en una primera dirección (X10) perpendicular a la dirección de detección (Di) de cada transductor ultrasónico; o
- un único transductor ultrasónico que puede moverse a lo largo de una primera dirección (X) perpendicular a la dirección de detección;

- la primera y la segunda fuente (62, 64) y el medio de control asociado (4, 12) están configurados para generar sucesivamente la, al menos una, primera onda de cizalla ( $SW_1$ ) y la, al menos una, segunda onda de cizalla ( $SW_2$ ) en la región diana;
- 5 - la unidad de detección (10) está configurada para detectar el primero y el segundo patrón de propagación (P1, P2) de manera independiente entre sí y respectivamente, cuando la, al menos una, primera onda de cizalla ( $SW_1$ ) se genera y cuando la, al menos una, segunda onda de cizalla ( $SW_2$ ) se genera en la región diana;
- los medios de computación (12) están configurados para proceder a una inversión de tiempo del primero y el segundo patrón de propagación (P1, P2), independientemente entre sí, y para generar un primer esquema de excitación inversa (P1') y un segundo esquema de excitación inversa (P2');
- 10 - la primera fuente (62) se adapta para generar al menos una primera onda de cizalla modificada ( $SW'_1$ ), cuando se controla (S62) sobre la base del primer esquema de excitación inversa (P1'), y la segunda fuente (64) se adapta para generar, al mismo tiempo, la, al menos una, segunda onda de cizalla modificada ( $SW'_2$ ), cuando se controla (S64) sobre la base del segundo esquema de excitación inversa (P2') y la primera y la segunda fuente se adaptan para concentrar las ondas de cizalla modificadas en un punto dado (Pi-j) de la región diana (SP).
- 15
- 20 15. Una instalación según la reivindicación 14, donde la fila (10) de los transductores ultrasónicos (Ti) o el único transductor ultrasónico móvil se puede mover a lo largo de una segunda dirección (Y) perpendicular a la primera dirección (X) y a la dirección de detección (Di) de cada transductor ultrasónico o la fila de transductores ultrasónicos pertenece a un dispositivo transductor bidimensional.

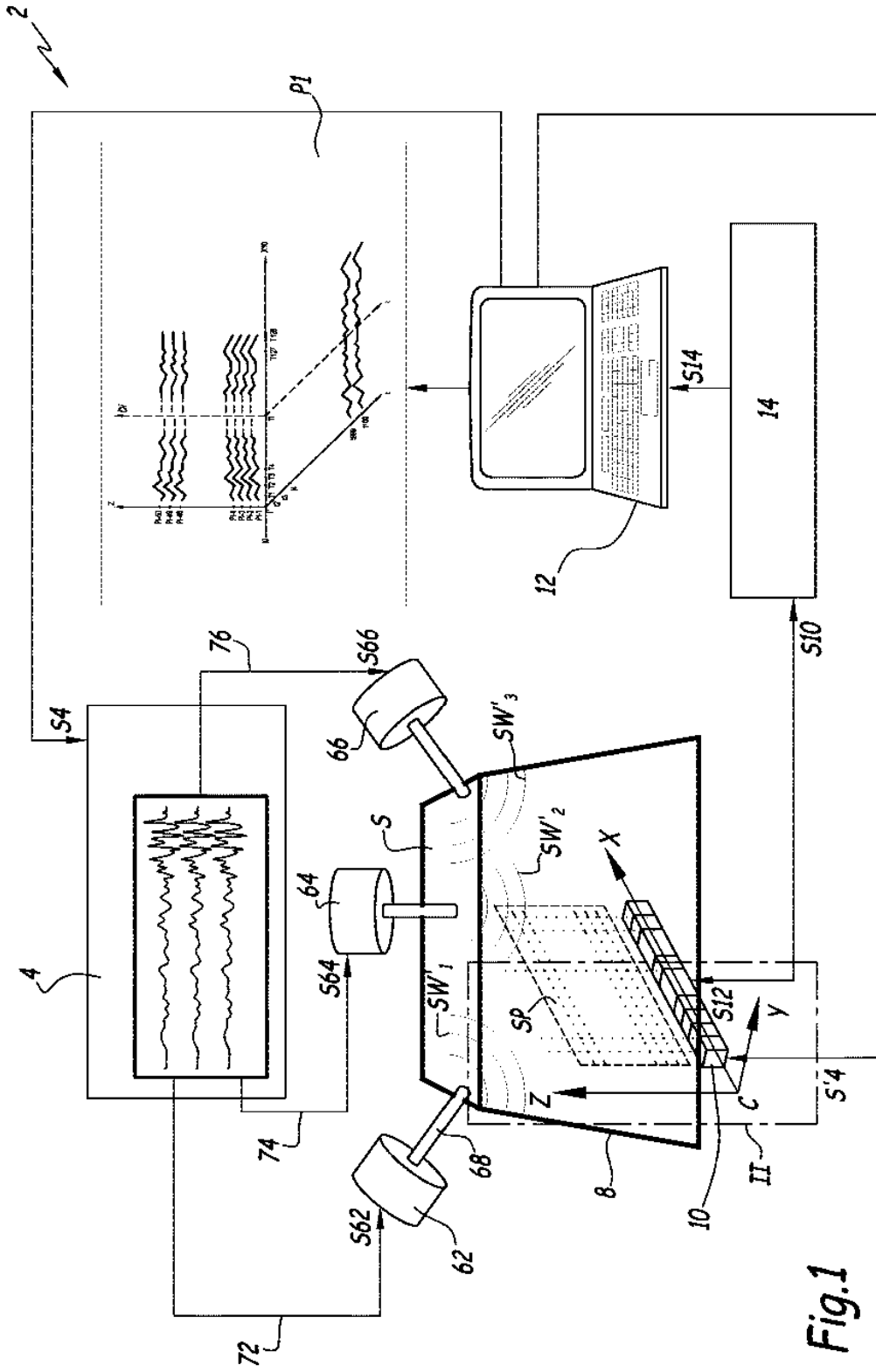


Fig.1

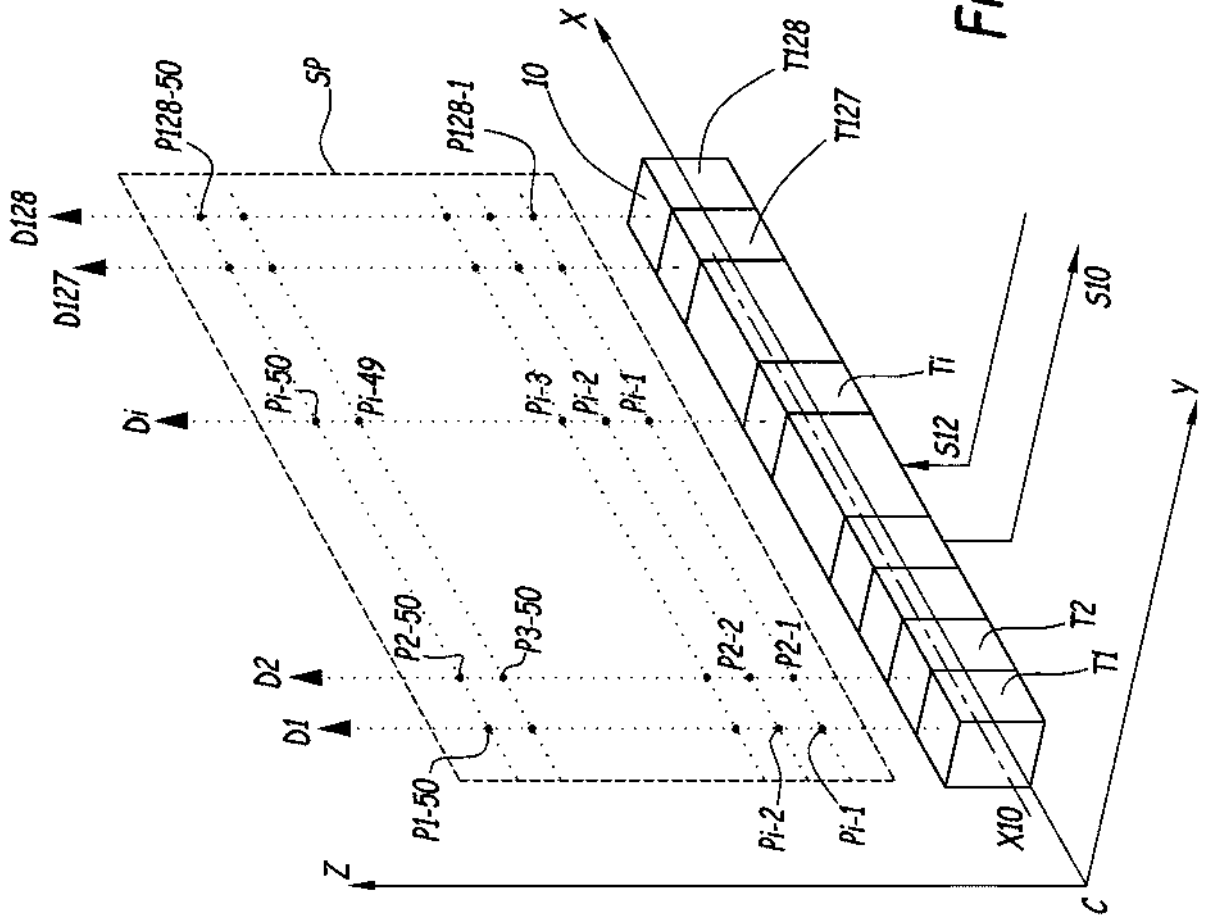


Fig.2

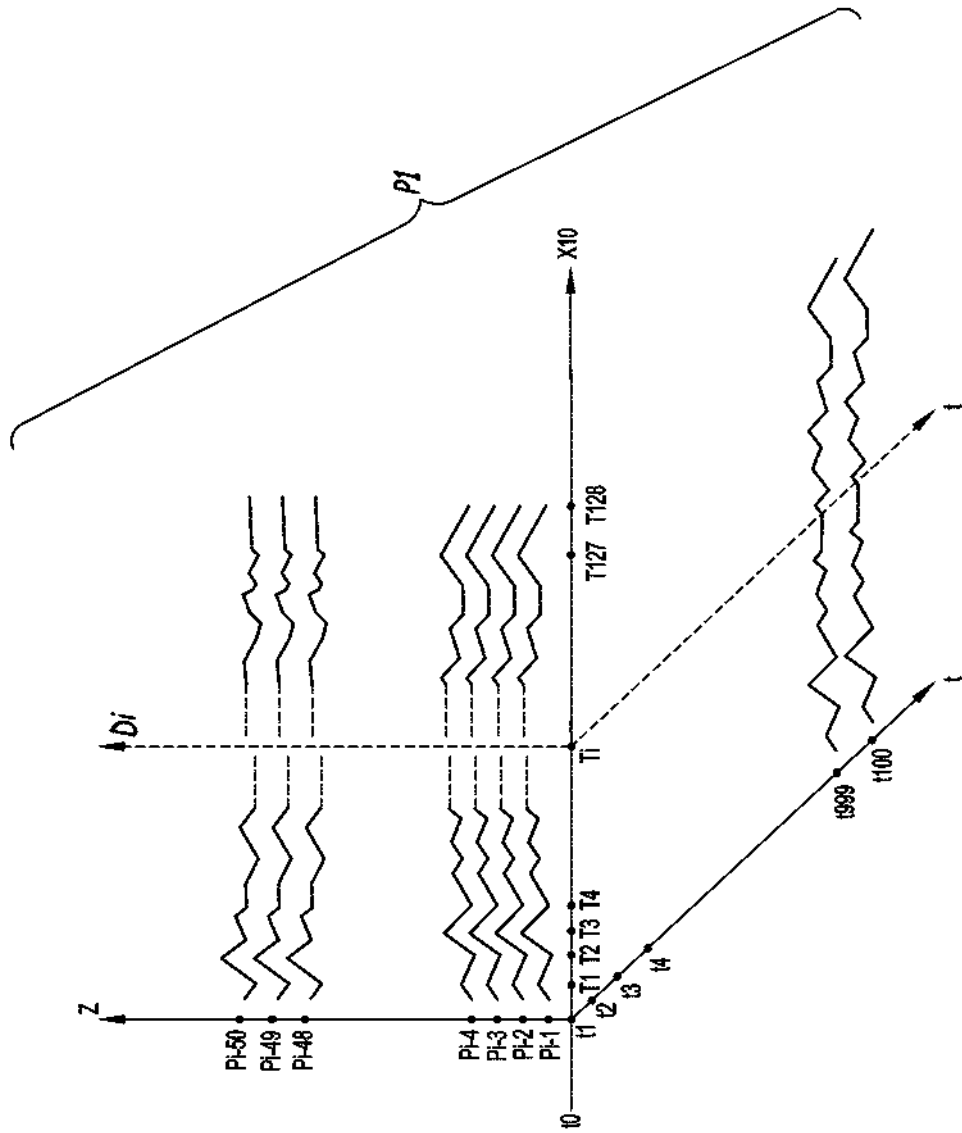


Fig.3

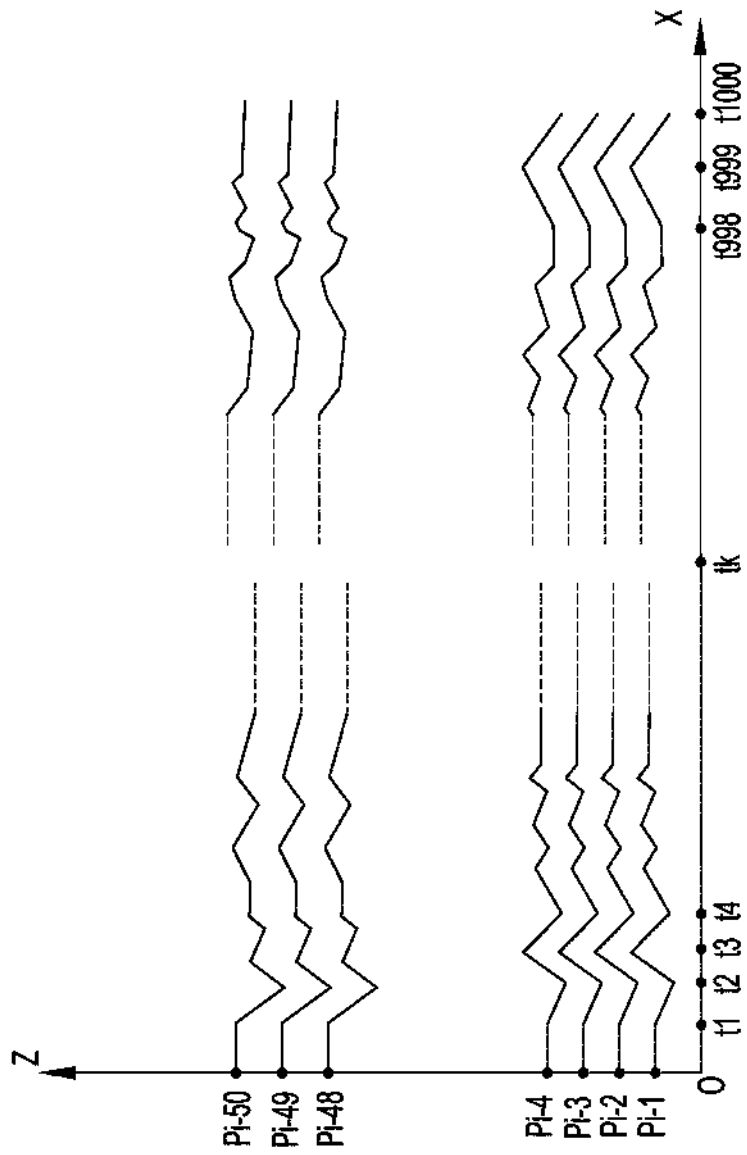


Fig.4



