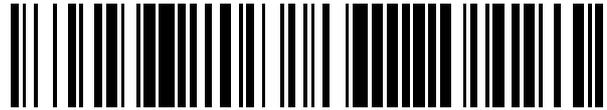


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 567 637**

51 Int. Cl.:

G01M 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.05.2006 E 06849775 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.01.2016 EP 2014019**

54 Título: **Triangulación con sensores coposicionados**

30 Prioridad:

18.04.2006 US 406662

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

25.04.2016

73 Titular/es:

**METIS DESIGN CORPORATION (100.0%)
205 Portland Street, Suite 400
Boston, Massachusetts 02114, US**

72 Inventor/es:

**KESSLER, SETH, S.;
DUNN, CHRISTOPHER, T. y
SHIM, DONG-JIN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 567 637 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

Triangulación con sensores coposicionados

5 Antecedentes de la invención

La determinación de la ubicación casi exacta de un objeto, característica o suceso es obligatoria en diversas aplicaciones, incluyendo las de radar, sonar, las tecnologías inalámbricas, la detección de daños, la monitorización de la salud estructural, los sistemas de posicionamiento o de mapeo, y similares, para llevar a cabo su característica.

10 Un esquema de detección de ubicación común, conocido como triangulación, implica medir la distancia a un suceso desde un punto de referencia. Para la triangulación, se colocan sensores en al menos tres lugares separados para determinar la ubicación de un objeto, situado en un punto entre los sensores.

15 La detección de la ubicación es particularmente útil para los métodos de monitorización de la salud estructural (SHM) y de detección de daños. La SHM implica la incorporación de métodos de ensayo no destructivos en una estructura, para proporcionar una monitorización remota continua de los daños. Los sistemas SHM son sistemas con la capacidad para detectar e interpretar los cambios adversos en una estructura, tal como un avión u otras aeronaves, automóviles y aplicaciones navales, por ejemplo. Los sistemas simples de SHM que se han implementado en diversas industrias, generalmente incluyen la adhesión de medidores de deformación o termopares

20 para monitorizar los cambios en la deformación, frecuencia y temperatura. Una forma común de SHM que proporciona datos mínimos es la "caja negra" en los aviones, que recopila datos críticos del vuelo.

La invención se refiere a la triangulación de la ubicación en el mismo plano de objetos, características, sucesos o daños, remotos, utilizando sensores situados sustancialmente cercanos entre sí. Los sensores están configurados

25 para detectar objetos, características, sucesos o daños situados en una posición fuera del perímetro formado por los sensores.

De acuerdo con la invención, se proporciona un método de detección de un suceso en una estructura mecánica, por medio de sensores y al menos un actuador. El método incluye generar en la estructura una señal excitada, usando

30 el al menos un actuador, detectar una señal reflejada desde el suceso utilizando cada uno de tres o más de los sensores, estando posicionados los tres o más de los sensores alrededor de un círculo que tiene un eje central, y estando situados los sensores y el al menos un actuador concéntricamente con respecto al eje central, determinar respectivas duraciones de tiempo durante las cuales las señales reflejadas se desplazan desde el suceso hasta

35 cada uno de los sensores, y calcular una ubicación del suceso mediante el uso de diferencias en las respectivas duraciones de tiempo, durante las cuales la señal reflejada se desplaza desde el suceso hasta cada uno de los sensores, para determinar un ángulo y una distancia a los que está posicionado el suceso.

Las implementaciones de la invención pueden incluir una o más de las siguientes características. El suceso puede comprender uno de un suceso de impacto, un daño físico o una característica de la estructura. Los sensores pueden

40 estar situados a intervalos regulares alrededor de un círculo. Un método para detectar una posición de una característica en una estructura utilizando un dispositivo con sensores y al menos un actuador, puede incluir detectar un suceso acústico, devolver una señal de onda reflejada desde el suceso a cada uno de los sensores del dispositivo, determinar una duración respectiva de tiempo durante el cual la señal se desplaza desde el suceso hasta cada uno de los sensores, y calcular una ubicación del suceso usando las diferencias en las respectivas

45 duraciones de tiempo, durante las cuales la señal se desplaza desde el suceso hasta cada uno de los sensores, para determinar un ángulo y una distancia a los que está posicionado el suceso.

También se conoce a partir del documento US2005/0228597 A1 la provisión de un dispositivo para detectar un suceso en una estructura mecánica. El dispositivo incluye al menos un actuador y al menos tres sensores que están

50 situados alrededor de un círculo que tiene un eje central, estando posicionados el al menos un actuador y los sensores concéntricamente alrededor del eje central, en el que el dispositivo está configurado para determinar la ubicación del suceso utilizando el al menos un actuador, para generar en la estructura una señal excitada, y usar cada uno de los al menos tres sensores para detectar una señal reflejada desde el suceso.

55 Las implementaciones de la invención pueden incluir una o más de las siguientes características. El actuador puede rodear los al menos tres sensores. El actuador puede situarse en el mismo plano que los al menos tres sensores. Los al menos tres sensores pueden rodear el al menos un actuador. Pueden alinearse concéntricamente una disposición de los al menos tres sensores y una disposición del al menos un actuador. Los al menos tres sensores pueden situarse a intervalos regulares alrededor del círculo. El al menos un actuador, utilizado para generar la señal excitada, puede ser un componente separado de los al menos tres sensores utilizados para detectar la señal

60 reflejada. El suceso puede comprender uno de un suceso de impacto, un daño físico o una característica de la estructura. El al menos un actuador y los al menos tres sensores pueden ser coplanarios.

La invención proporciona una o más de las siguientes capacidades. Pueden usarse de forma activa sensores coposicionados para reemplazar los métodos de red de elementos en fase. La ubicación de un suceso se puede

65 determinar con aproximadamente 2 grados de precisión. La ubicación de un suceso se puede determinar con menos

de 2 grados de precisión. Pueden eliminarse sustancialmente el "Efecto halo" y las zonas de "debilitamiento de las señales" que se encuentran en la red de elementos en fase tradicional. Los sensores coposicionados se pueden utilizar para reemplazar redes de sensores de triangulación más grandes, más densas. El método puede aplicarse ampliamente en aplicaciones aeroespaciales, de automoción, navales y civiles, o en otros campos. Se puede lograr la detección con menos sensores sin limitar el rango deseado de detección. Los sensores coposicionados se pueden utilizar en aplicaciones grandes o pequeñas que requieran diferentes potencias para obtener el rango y la resolución deseados. Las realizaciones de la invención pueden utilizar una red de componentes actuadores y sensores, incluyendo, pero sin limitación a, obleas piezoeléctricas, medidores de deformación, fibras ópticas o dispositivos MEMS. Puede usarse de forma pasiva un conjunto de sensores en un nodo para determinar la ubicación de un suceso de impacto utilizando una emisión acústica. Un conjunto de sensores en un nodo puede localizar activamente la posición (por ejemplo, el ángulo y el radio) de una característica de daño usando ondas de Lamb u otras técnicas de ultrasonidos comunes.

Otras capacidades resultarán evidentes tras revisar las siguientes Figuras y Descripción Detallada.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una vista en perspectiva superior de unos sensores coposicionados que se usan en un dispositivo de detección de daños, fabricado cortando por láser, por ejemplo, una oblea PZT5A.

La FIG. 2 es un esquema de configuraciones de sensores/actuadores alternativas ejemplares.

La FIG. 3A es un esquema de una medición de la distancia y el ángulo de un suceso, usando sensores coposicionados.

La FIG. 3B es un gráfico de resultados experimentales que comparan mediciones colocalizadas que miden el ángulo de una característica de daño con el ángulo real, utilizando el método de la FIG. 8A.

La FIG. 4 es una gráfica que demuestra la técnica de Fourier para calcular un ángulo de una característica.

La FIG. 5 es un diagrama de flujo que representa un método para determinar una distancia a un suceso, de acuerdo con una realización de la invención.

Descripción detallada de la invención

A continuación, se describirán más en particular las características y otros detalles de la invención. Debe comprenderse que las realizaciones particulares descritas en el presente documento se muestran a modo de ilustración, y no como limitaciones de la invención. Las principales características de la presente invención se pueden emplear en diversas realizaciones sin apartarse del alcance de la invención.

Las realizaciones de la invención están dirigidas a sensores coposicionados en un solo conjunto, utilizados para determinar la posición (ángulo y radio) de un suceso de impacto o característica de daño localizado fuera del conjunto de sensores, usando métodos de triangulación. Las realizaciones de la invención se pueden dirigir a sensores piezoeléctricos y un actuador que estén situados en estrecha proximidad entre sí, y que puedan agruparse dentro de una única unidad y compartir una infraestructura de hardware común. Las realizaciones de la invención se pueden usar para facilitar la detección de daños, los ensayos no destructivos ("END"), la tecnología de radar, de sonar y la monitorización de la salud estructural ("SHM"). Las realizaciones de la invención se refieren a una colección de componentes eléctricos y mecánicos, necesarios para llevar a cabo in situ métodos de detección de daños. Las realizaciones de la invención se pueden usar en la SHM de aeronaves, naves espaciales, buques y automóviles. Las realizaciones de la invención se pueden usar en otras estructuras que usen redes de sensores, y para llevar a cabo otros procedimientos de ensayo que no sean procedimientos END y SHM. Por ejemplo, las realizaciones de la invención se pueden utilizar para la evaluación no destructiva, medición, monitorización del uso (HUMS), seguridad, vigilancia, monitorización de estado, control de calidad, redes de radar o de telefonía móvil. Las realizaciones de la invención se pueden usar para otras aplicaciones.

Con referencia a la FIG. 1, un nodo sensor 5 comprende una oblea piezoeléctrica 20, unos sensores 50 y un actuador 60. La oblea 20 tiene un radio 70. Los sensores 50 están posicionados preferiblemente equidistantes entre sí, alrededor de un perímetro de la oblea piezoeléctrica 20. Por ejemplo, una oblea 20 circular que tenga un radio 70, incluye unos sensores 50 situados a distancias iguales alrededor del perímetro de la oblea 20. Los sensores 50 están sustancialmente cerca los unos de los otros, y cerca del actuador 60.

El nodo 5 comprende los al menos tres sensores coposicionados 50, que permiten la triangulación usando señales reflejadas. Los sensores 50 y el actuador 60 son componentes sustancialmente en el mismo plano, capaces de conectar con un circuito sin usar cables. Por ejemplo, el nodo 5 puede incluir componentes, tales como los componentes descritos en las Solicitudes de Estados Unidos relacionadas con n.º de Serie 11/071.129, presentada el 3 de marzo 2005 y titulada "Sensor Infrastructure", y con n.º de Serie 11/071.856, presentada el 3 de marzo 2005 y titulada "Damage Detection Device". Con referencia a la FIG. 2, los sensores coposicionados 50 y el actuador 60 pueden tener diversas formas y configuraciones alternativas. Por ejemplo, los sensores 50 pueden tener forma circular, semicircular, cuadrada, triangular, rectangular, hexagonal, octogonal, y cualquiera de diversas otras formas. Se pueden utilizar tres sensores 50, o más de tres sensores 50, para optimizar la detección de la ubicación. El actuador 60 también puede tener cualquiera de diversas formas configuradas para ser coplanarias con respecto a

5 los sensores 50. El diseño sustancialmente concéntrico de los sensores 50 y el actuador 60 proporciona un funcionamiento omnidireccional del nodo 5. El hecho de que un actuador rodee un conjunto de sensores (o viceversa) permite que las señales excitadas (eléctricamente, magnéticamente, acústicamente, por vibración, o de otra manera) emanen de manera omnidireccional, desde una fuente puntual cercana, y permite tomar mediciones de respuesta cercanas a esa misma ubicación.

10 Cada uno de los sensores 50 y el actuador 60 pueden rodear, o rodear sustancialmente, al otro. En cada una de las configuraciones alternativas que se muestran en la FIG. 2, la parte central puede ser el actuador 60, rodeado por uno o más sensores 50. Así, un actuador o un conjunto de actuadores pueden rodear un sensor o un conjunto de sensores. Alternativamente, un sensor o un conjunto de sensores pueden rodear un actuador o un conjunto de actuadores, en el diseño concéntrico.

15 La configuración en el mismo plano del actuador 60 y los sensores coposicionados 50 logra el contacto con un material a monitorizar, o comprobar, usando cinta termoendurecida o termoplástica, epoxi, usando un material de acoplamiento, o con una fuerza aplicada externamente. Son posibles y se prevén otros métodos de curación de contacto a temperatura ambiente o elevada. En algunas aplicaciones, los sensores coposicionados 50 y el actuador 60 están encapsulados en una carcasa. En otras realizaciones, el nodo 5 está situado de manera sustancialmente directa sobre un material o estructura de uso. El actuador 60 y los sensores coposicionados 50 pueden accionarse mediante la aplicación de un campo eléctrico o magnético, con el fin de excitar en el actuador modos transversal, axial, cortante o radial. Este campo se puede aplicar a una cara paralela del actuador 60, o usando patrones de electrodos interdigitados. Se pueden medir los datos de voltaje de los sensores utilizando cualquiera de estos campos. Preferiblemente, los sensores 50 y el actuador 60 están contruidos con un material piezocerámico. Sin embargo, se pueden utilizar otros materiales conocidos, tales como otros materiales piezoeléctricos (PVDF, PMA, etc.), materiales piezorresistivos o materiales magnetorestrictivos, por ejemplo.

20 El material piezoeléctrico particular utilizado para la oblea 20 puede ser PZT5A, con el fin de reducir la dependencia del rendimiento a la temperatura, sin embargo, también serían aceptables otros grados de PZT, tal como PZT5H. Los elementos piezoeléctricos se moldean por inyección, o mecanizan o microfabrican, ya sea con procesos de adición o de sustracción, para darles la geometría deseada, normalmente con un diámetro inferior a 2,54 cm. Son posibles y se prevén otras dimensiones, y pueden variar dependiendo de la optimización de una aplicación.

25 Se pueden utilizar diversos tipos de sensores para llevar a cabo la triangulación, incluyendo, pero sin limitación, sensores que midan el esfuerzo, la deformación, la vibración, la acústica, la temperatura, la humedad, la aceleración, la radiación, los campos eléctricos o magnéticos, la luz y/o el movimiento. Adicionalmente, puede montarse en la superficie o embeberse un nodo 5 para ciertas aplicaciones, que incluyen, por ejemplo, la monitorización de la salud estructural, la evaluación no destructiva, la monitorización del uso de la salud, la vigilancia o la seguridad.

30 Los tamaños de los nodos pueden variar. Por ejemplo, los sensores 50 pueden incluir un actuador cuyo diámetro varíe desde 2,54 cm a 0,254 cm. Los sensores pueden variar desde un diámetro de 0,508 cm con una separación de 0,0254 cm, a un diámetro de 0,0508 con una separación de 0,00254. Son posibles otras dimensiones de los sensores y del actuador. Por ejemplo, los diámetros de los sensores y de los actuadores, y la separación entre los sensores, puede ser mayor o menor que las dimensiones indicadas anteriormente. La relación de las dimensiones puede optimizarse en función del rendimiento previsto. Los nodos 5 pueden utilizar entre 3 y 6 sensores, o más de 6 sensores, en el interior de un actuador anular, por ejemplo.

35 Con referencia a la FIG. 3A, el actuador 60 está configurado para excitar formas de onda en un material, para crear ondas reflejadas que los sensores coposicionados 50 puedan medir. El actuador 60 excita un modo de onda de Lamb radial, que se propaga de manera omnidireccional desde la ubicación de origen. Los sensores 50 están colocados para medir una diferencia del tiempo de llegada de las ondas reflejadas desde ubicaciones de característica (por ejemplo, un daño), para triangular una ubicación de un suceso o característica ubicado fuera del perímetro definido por los sensores 50 y el actuador.

40 La distancia a un suceso 110 se puede calcular de acuerdo con diversas metodologías. Por ejemplo, en un método de registro secuencial para determinar la posición del suceso 110, se registra un tiempo de vuelo de la señal enviada desde el punto 100, para cada uno de los sensores situados alrededor del círculo 102. Se dibuja un vector entre los sensores 50 con los tiempos de vuelo más largos y más cortos, para calcular una distancia D al suceso 110. El método descrito con respecto a la FIG. 3A puede aumentar la precisión a medida que se añadan sensores adicionales a un nodo.

45 Alternativamente, se pueden utilizar los sensores coposicionados 50 en un método de triangulación para determinar la distancia D al suceso 110. Se sitúan los sensores 50 en incrementos regulares alrededor de un círculo, por ejemplo, se colocan 3 sensores separados 120 grados entre sí alrededor de un círculo. Por cada combinación de 3 sensores, se efectúa un cálculo de triangulación, hallando las coordenadas cartesianas para determinar los tiempos de vuelo registrados, usando fórmulas distancia. Se compara cada una de las combinaciones, y se promedian las

combinaciones de resultados que presenten los niveles de confianza más altos, para producir una posición final de la característica.

5 Por ejemplo, de acuerdo con la experimentación, el método de triangulación produce resultados sustancialmente precisos con un número pequeño de sensores. El aumento del número de sensores en más de 3, aumenta marginalmente la resolución, que se validó experimentalmente para 3-6 sensores. Con referencia a la FIG. 3B, se llevaron a cabo experimentos utilizando la técnica de triangulación. Un gráfico 120 representa resultados de pruebas con un único actuador y 3 sensores, colocados sobre una placa de aluminio de 30,48 cm x 30,48 cm, con marcas en incrementos de 1 grado. Se colocó un peso de 1 kilogramo sobre la placa usando un acoplador a cortadura para representar una característica. Se colocó el peso en varias posiciones conocidas antes de recoger datos, a fin de 10 comparar el ángulo hasta el daño medido, con el ángulo hasta el daño conocido. También se representó la distancia al daño, usando el tiempo de vuelo promedio registrado por todos los sensores para calcular la posición. A partir de estos experimentos, se observó un error de menos de 5 grados. El tratamiento posterior y la optimización experimental permitieron reducir el error a 2 grados, o menos. La implementación experimental de una versión pasiva del sistema mostrado en las FIGS. 3A y 3B, ha producido resultados sustancialmente similares. La 15 experimentación del sistema pasivo se llevó a cabo utilizando una punta de un lápiz rota en varios lugares de la placa. Los sensores coposicionados son capaces de determinar la ubicación con una precisión idéntica sin el uso de un actuador.

20 Con referencia a la FIG. 4, en un método alternativo adicional para calcular una distancia a un suceso, se puede usar una transformada de Fourier en el cálculo de la posición de la característica, suceso de impacto o un daño. Se sitúan los sensores 50 alrededor del radio de un círculo. Se utilizan los sensores 50 para trazar los resultados del tiempo de llegada en coordenadas cilíndricas, gráfica 130. Se utiliza la transformada de Fourier para aproximar la onda sinusoidal más cercana que coincida con estos datos, utilizando los valores de amplitud, desplazamiento, fase y ángulo de los sensores. Una vez que se ha interpolado la onda sinusoidal, se puede utilizar un método de 25 triangulación tradicional para calcular la posición característica, basándose en los tiempos de vuelo implícitos para las ubicaciones fijas de los sensores.

30 En funcionamiento, con referencia a la FIG. 5 y con referencia adicional a las FIGS. 1-4, un proceso para detectar una característica, tal como un daño o un suceso de impacto en un material o estructura, utilizando un nodo 5 con múltiples sensores, incluye las etapas mostradas. Sin embargo, el proceso 200 solamente es ejemplar y no limitante. El proceso 200 puede alterarse, por ejemplo, añadiendo, eliminando, o reordenando etapas.

35 En la etapa 202, se coloca un nodo 5 sobre la superficie de un material, o una estructura, cuya integridad estructural vaya a comprobarse o monitorizarse. Un único nodo comprende uno o más actuadores 60, y un número de sensores 50. Por ejemplo, un nodo 5 contiene tres sensores 50 equidistantes entre sí, alrededor de un perímetro del nodo 5, circunscritos por un actuador anular 60. El nodo 5 puede estar embebido en un material, o estructura, para llevar a cabo la detección. El nodo 5 se puede utilizar para localizar otras características o sucesos, por ejemplo, en una aplicación de radar o sonar. Aunque el sistema puede funcionar de forma continua, puede accederse al sistema si 40 así se desea, por ejemplo, para ahorrar energía y por necesidades de cálculo.

45 En la etapa 204, el nodo 5 recoge datos relacionados con la estructura a la que está fijado. El nodo 5 puede recoger datos de forma activa (por ejemplo, emitir impulsos y captar), o de forma pasiva, por ejemplo, utilizando métodos de deformación y de emisión acústica. Se pueden utilizar de forma continua métodos pasivos de detección de daños, para detectar la presencia de un impacto en la estructura. Los métodos pasivos generalmente son los que operan mediante la detección de respuestas debido a las perturbaciones de las condiciones ambientales. Se puede realizar la emisión acústica de forma pasiva para detectar y registrar sucesos de impacto, y estimar la energía del impacto.

50 Los métodos activos, tales como las técnicas de onda de Lamb, pueden dar más información acerca del tipo y la gravedad del daño, además de la ubicación del mismo. Los métodos activos utilizan para su funcionamiento, por ejemplo, energía suministrada externamente en forma de ondas de esfuerzo o electromagnéticas. Ejemplos de métodos activos incluyen, pero sin limitación, mediciones de impedancia eléctrica y magnética, corrientes de Foucault, fibras ópticas que utilicen una fuente de luz láser, análisis modal y propagación de ondas de Lamb. En la 55 etapa 206, los nodos pasan la información recogida a una unidad de procesamiento local

60 En la etapa 208, se determina la posición del daño utilizando los datos recogidos, y utilizando algoritmos para triangular ubicaciones de característica desde un único punto. Por ejemplo, un nodo 5 que tenga tres o más sensores 50 igualmente separados, alrededor de un círculo con un radio dado, puede registrar el tiempo de vuelo de una señal enviada al suceso para cada sensor 50. El tiempo de vuelo de la señal se usa para calcular una posición del suceso con respecto a la posición del sensor 50. Se pueden utilizar más de tres sensores en un nodo, para detectar la ubicación de un suceso.

65 En la etapa 210, se muestran al usuario los datos recogidos y procesados, para su verificación. La representación visual es posible utilizando cualquiera de una serie de métodos, por ejemplo, a través de indicadores LED, informes de texto, o gráficamente. También es posible establecer una retroalimentación con el sistema que se esté monitorizando, para llevar a cabo acciones en base a los resultados. Los datos pueden comunicarse a una ubicación

central (por ejemplo, al personal de tierra), a nivel local (por ejemplo, un operador), o a otros nodos para colaborar mediante fusión de datos, por ejemplo.

5 En realizaciones de la invención, se facilitan pruebas de monitorización estructural mediante la electrónica en una tarjeta de circuito impreso. Un microprocesador puede estar encapsulado en el nodo 5, para iniciar las pruebas mediante la activación del generador de función arbitraria, para excitar el actuador en el nodo 5 e iniciar la recolección de datos, mediante un registrador de datos situado en la placa de circuito impreso. Las pruebas se pueden iniciar de forma remota por un usuario, programarse previamente para su ejecución a ciertos intervalos, o ejecutarse de manera sustancialmente continua. Un procesador central recoge datos digitales de la memoria intermedia, a través de un enlace de datos por cable o inalámbrico. Un procesador central procesa los datos. El microprocesador de la placa de circuito impreso puede proporcionar procesamiento, para evaluar daños a nivel local.

10 Los expertos en la materia reconocerán, o serán capaces de determinar usando experimentación rutinaria, numerosos equivalentes a los procedimientos específicos descritos en el presente documento. Tales equivalentes se consideran dentro del alcance de la invención. Otros aspectos, ventajas y modificaciones están dentro del alcance de la invención. Los componentes, procesos y métodos adecuados de tales patentes, solicitudes y otros documentos pueden seleccionarse para la invención y realizaciones de la misma.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de detección de un suceso (110) en una estructura mecánica, por medio de sensores (50) y al menos un actuador (60), comprendiendo el método:
- 10 generar en la estructura una señal excitada, usando el al menos un actuador (60);
detectar una señal reflejada desde el suceso, utilizando cada uno de tres o más de los sensores (50), estando situados los tres o más de los sensores (50) alrededor de un círculo que tiene un eje central (100), y estando situados los sensores y el al menos un actuador (60) concéntricamente con respecto al eje central (100);
15 determinar respectivas duraciones de tiempo, durante las cuales la señal reflejada se desplaza desde el suceso (110) hasta cada uno de los sensores (50); y
calcular una ubicación del suceso (110) mediante el uso de las diferencias en las respectivas duraciones de tiempo, durante las cuales la señal se desplaza desde el suceso (110) hasta cada uno de los sensores (50), para determinar un ángulo y una distancia a los que está posicionado el suceso (110).
- 20 2. El método de la reivindicación 1, en el que el suceso (110) comprende uno de un suceso de impacto, un daño físico o una característica de la estructura.
3. El método de la reivindicación 1 o 2, en el que los sensores (50) están posicionados a intervalos regulares alrededor de un círculo.
- 25 4. Un dispositivo para la detección de un suceso (110) en una estructura mecánica, comprendiendo el dispositivo:
al menos un actuador (60); y
al menos tres sensores (50) que están situados alrededor de un círculo que tiene un eje central (100), estando situados el al menos un actuador (60) y los sensores (50) concéntricamente alrededor del eje central (100),
30 en el que el dispositivo está configurado para determinar la ubicación del suceso (110), mediante el al menos un actuador (60), para generar en la estructura una señal excitada y usar cada uno de los al menos tres sensores (50) para detectar una señal reflejada del suceso (110).
5. El dispositivo de la reivindicación 4, en el que el al menos un actuador (60) rodea los al menos tres sensores (50).
- 35 6. El dispositivo de la reivindicación 4 o 5, en el que el al menos un actuador (60) está posicionado en el mismo plano que los al menos tres sensores (50).
7. El dispositivo de la reivindicación 4 o 6, en el que los al menos tres sensores (50) rodean el al menos un actuador (60).
- 40 8. El dispositivo de las reivindicaciones 4 a 7, en el que una disposición de los al menos tres sensores (50) y una disposición del al menos un actuador (60) están alineadas concéntricamente.
9. El dispositivo de las reivindicaciones 4 a 8, en el que los al menos tres sensores (50) están posicionados a intervalos regulares alrededor del círculo.
- 45 10. El dispositivo de las reivindicaciones 4 a 9, en el que el al menos un actuador (60), que se utiliza para generar la señal excitada, es un componente separado de los al menos tres sensores (50), que se utilizan para detectar la señal reflejada.
- 50 11. El dispositivo de las reivindicaciones 4 a 10, en el que el suceso (110) comprende uno de un suceso de impacto, un daño físico o una característica de la estructura.
12. El dispositivo de las reivindicaciones 4 a 11, en el que el al menos un actuador (60) y los al menos tres sensores (50) son coplanarios.

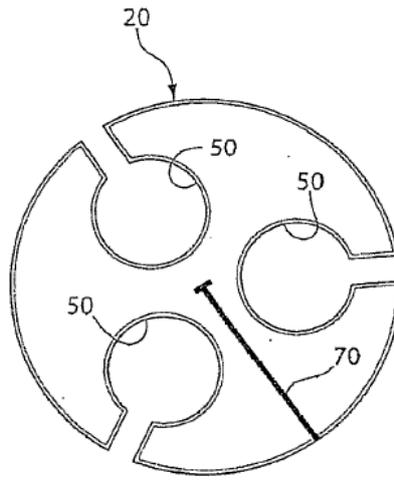


Fig. 1

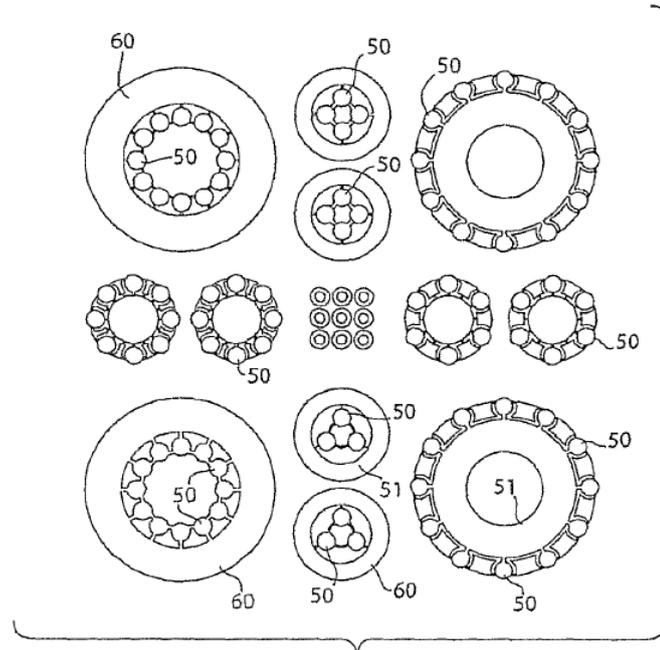


Fig. 2

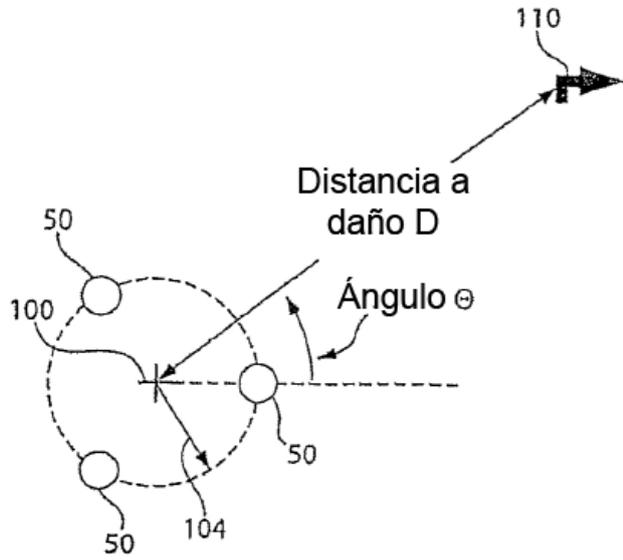


Fig. 3A

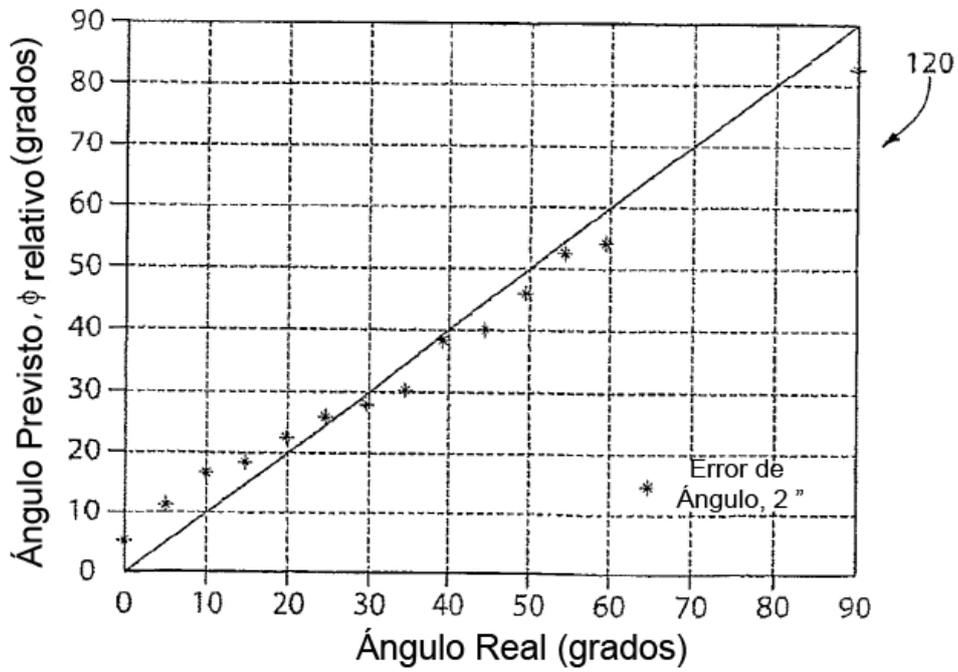


Fig. 3B

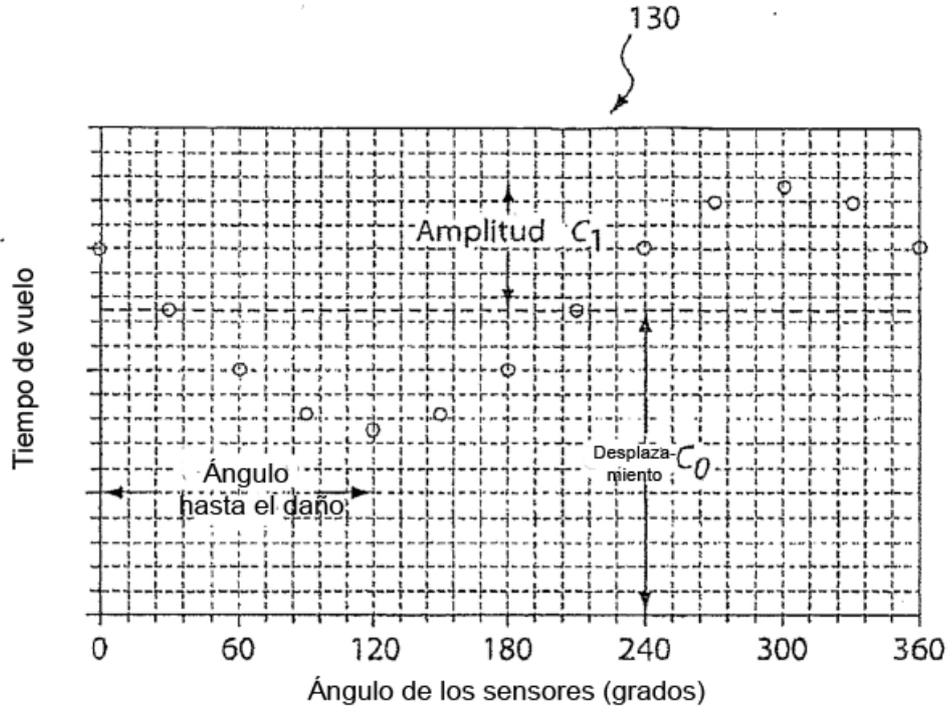


Fig. 4

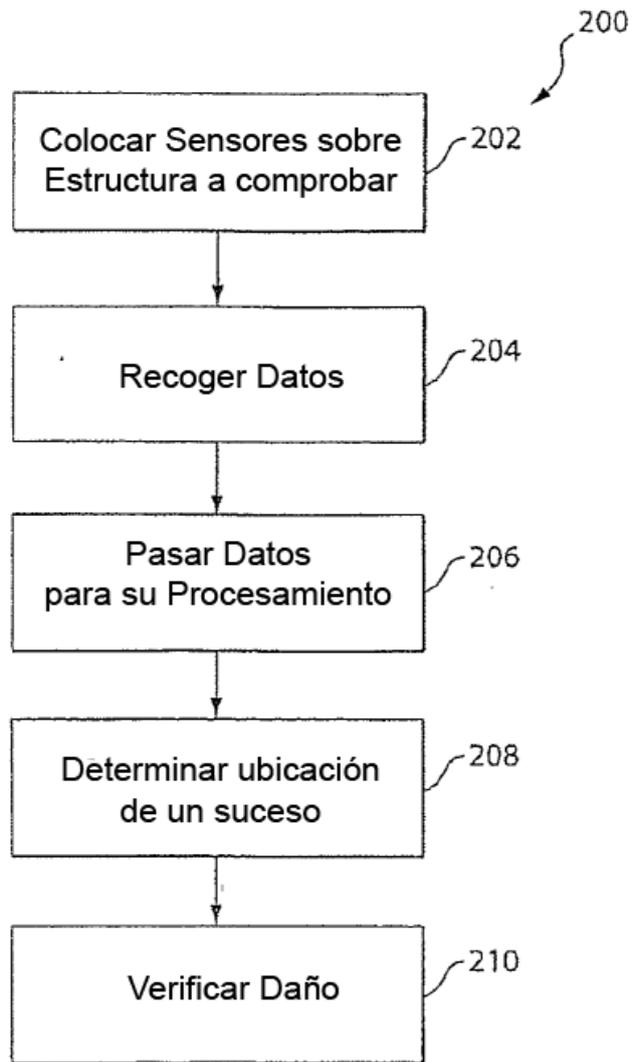


Fig. 5