



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 328 724**

51 Int. Cl.:

G01N 22/00 (2006.01)

G01V 3/12 (2006.01)

G01S 13/88 (2006.01)

H01Q 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06014809 .5**

96 Fecha de presentación : **07.09.2000**

97 Número de publicación de la solicitud: **1762840**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.03.2007**

54 Título: **Radar para la obtención de imágenes y procedimientos para llevar a cabo la obtención de imágenes y el cartografiado de precisión por radar.**

30 Prioridad: **07.09.1999 GB 9921042**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.11.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.11.2009

73 Titular/es: **George Colin Stove**
41 Craiglockhart Park
Edinburgh EH14 1EU, GB

72 Inventor/es: **Stove, George Colin**

74 Agente: **Martín Santos, Victoria Sofía**

ES 2 328 724 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

Radar para la obtención de imágenes y procedimientos para llevar a cabo la obtención de imágenes y el cartografiado de precisión por radar.

Esta invención se refiere a un radar y a procedimientos para el uso del mismo para la obtención de imágenes y/o el análisis espectrométrico. En particular, se refiere a un radar de pulsos para la ampliación, la obtención de imágenes, medición a escala, identificación y/o catalogación de la composición de una sustancia mediante la obtención de imágenes por radargrametría y/o el análisis espectrométrico. La invención se refiere adicionalmente al uso del radar para localizar y/o distinguir una sustancia de otras sustancias. La invención puede adicionalmente utilizarse para formar imágenes de una sustancia/característica y para monitorizar el movimiento de una sustancia/característica de la que se han obtenido imágenes. Tales sustancias/características en movimiento incluyen pero no se limitan al flujo sanguíneo y a otras sustancias en movimiento dentro de un cuerpo humano o de un animal, y sustancias/características en un ambiente subterráneo como, por ejemplo, el movimiento del agua, petróleo, gas y/o contaminantes por debajo de la superficie del suelo, bajo cuerpos de agua estancada o fluyente, o bajo el nivel del mar y el lecho marino.

Los sistemas y procedimientos de radar de acuerdo con la invención pueden adaptarse para una variedad de aplicaciones a una amplia gama de escalas y distancias. Éstas varían desde aplicaciones a gran escala y de largo alcance como, por ejemplo, la obtención de imágenes/análisis geofísico aéreo, marítimo o de tierra de las superficies y sub-superficies terrestres, por ejemplo el cartografiado de precisión y la clasificación de materiales del lecho marino y también el cartografiado de los tipos de suelos, sedimentos y rocas y la clasificación de aplicaciones a escala media y medio alcance como, por ejemplo, obtención de imágenes/análisis "a nivel del suelo" (de cuerpos de tierra o agua) como, por ejemplo, aplicaciones de penetración del lecho marino y de la tierra relativamente a poca profundidad, hasta aplicaciones de pequeña escala como, por ejemplo, aplicaciones de catalogación de materiales y obtención de imágenes/análisis a pequeña escala (incluyendo la escala microscópica), incluyendo las aplicaciones de obtención de imágenes biológicas y médicas y de diagnóstico. La invención también podría extenderse a aplicaciones de obtención de imágenes y análisis basados en un espacio de muy largo alcance/gran escala como, por ejemplo, el estudio orbital de los planetas y las aplicaciones astronómicas.

La escala (es decir, alcance y resolución) a la que opera el radar viene determinada en mayor o menor medida por la geometría de la antena de transmisión y recepción empleada en los sistemas según la invención. También se ve afectada por las propiedades de los materiales dieléctricos empleados en tal dispositivo.

Determinados aspectos de la invención están relacionados con la consecución de determinadas condiciones durante la configuración del dispositivo para obtener "oscilaciones de ondas estacionarias" en las cámaras de muestras y/o en los conjuntos de antena. A este respecto es importante controlar selectivamente la velocidad de grupo de la radiación según es emitida o "lanzada" por el transmisor al medio circundante. En particular, para el escaneo en profundidad es importante que la velocidad de lanzamiento de la onda sea lo suficientemente lenta para asegurar que la onda pueda ser registrada con precisión en una posición precisa de "instante cero" por el receptor después de que haya sido transmitido el pulso. La posición de instante cero es la posición de inicio para las mediciones de alcance y debe ser identificada en la señal de radar recibida para determinar el verdadero alcance representado por la señal recibida.

Configurar las oscilaciones de ondas estacionarias para diferentes intervalos de tiempo o ventanas temporales como, por ejemplo, 25 ns, 50 ns, 100 ns, 1.000 ns ó 20.000 ns, todos ellos implicarían posiciones de instante cero diferentes. Se requieren diferentes intervalos de tiempo para habilitar los diferentes rangos de profundidad requeridos para obtener determinadas aplicaciones de cartografiado de precisión. El posicionamiento preciso del punto correspondiente al instante cero es importante y puede resultar un procedimiento difícil: una determinación imprecisa del instante cero introduce un desplazamiento sistemático en la localización de todas las mediciones del radar. Determinadas formas de realización de la invención registran la posición del instante cero antes de que la señal del radar recibida sea convertida de analógica a digital. Esto permite localizar un instante cero más preciso que el que se puede obtener utilizando técnicas convencionales. Formas preferentes de realización de la invención localizan la posición óptima para el instante cero, para operaciones de cartografiado u "observación", por medios digitales utilizando la lógica matemática.

Un punto ciego a corta distancia (corto alcance) del radar del orden de 1 metro podría generar una desviación de la posición equivalente en el mapa del radar de las características detectadas. Por tanto dichos puntos ciegos de corto alcance pueden resultar muy poco deseables. Tales puntos ciegos se pueden mitigar y obviar localizando con precisión la posición del punto correspondiente al instante cero en la señal del radar recibida.

Aunque los georadares (GPRs) ya son conocidos como herramientas de ensayo no destructivas sus capacidades analíticas han sido restringidas y la obtención de imágenes ES a menudo tosca cuando se utilizan dispositivos convencionales. Los sistemas de radar convencionales que utilizan ondas electromagnéticas para investigar la estructura interna de sustancias no conductoras dentro de la tierra proporcionan una resolución relativamente baja. Además, a menudo son dispositivos difíciles de manejar y que requieren de operarios altamente cualificados.

El dispositivo, sistemas y procedimientos de la invención pueden utilizarse para una variedad de propósitos, particularmente pero no exclusivamente tres tipos básicos de aplicación. El primero de ellos se refiere a la identificación

o “catalogación” de materiales desconocidos utilizando sus características espectrales; es decir, utilizando características de energía-frecuencia, y también se pueden denominar en general operaciones de “catalogación”. El segundo se refiere al uso del equipo en el campo o en el laboratorio, para detectar y/o cartografiar y/o medir y/o analizar estructuras o materiales, por ejemplo; esto puede denominarse en general operaciones de “estudio”. El tercero se refiere al uso del dispositivo para localizar materiales previamente catalogados, y para buscarlos en el campo o en el laboratorio y pueden denominarse en general operaciones de “búsqueda”. Los diversos tipos de operaciones son soportadas por un software adecuado que permite poder llevar a cabo los procesos de análisis y obtención de imágenes en el campo o en el laboratorio casi en tiempo real.

El inventor cree que una característica clave de la invención es la configuración de condiciones de resonancia en el dispositivo transmisor/receptor. Esto se ve afectado por las dimensiones y/o la geometría de una cavidad transmisora y una cavidad receptora que básicamente rodean las respectivas antenas de transmisión y recepción. En particular, son importantes las proporciones relativas de las longitudes y anchuras de la antena ó las antenas respecto a las longitudes y las anchuras de las cavidades circundantes. De acuerdo con la invención según se define en la reivindicación 1 el diámetro interno de la cavidad de una antena, cuyas paredes pueden formar el elemento que constituye el cátodo de una antena en determinadas formas de realización, es un múltiplo entero del diámetro del elemento interno que constituye el ánodo de la antena, y/o, la longitud interna de la cavidad de la antena es idealmente un múltiplo entero de la longitud del elemento que constituye el ánodo de la antena.

Las condiciones de resonancia pueden verse afectadas adicionalmente revistiendo por lo menos parcialmente la antena o antenas con un material de revestimiento dieléctrico adecuado. Además, se cree que la selección de un material dieléctrico adecuado para revestir las antenas de transmisión y recepción ayuda adicionalmente en el enfoque de corto alcance y en la determinación más precisa de la posición correspondiente al instante cero, la posición de inicio para las mediciones de alcance.

La invención busca proporcionar un radar con un transmisor que sea capaz de emitir un haz de radiación electromagnética dentro de o hacia una sustancia y un receptor que sea capaz de recibir radiación electromagnética que haya pasado a través de la sustancia o que haya sido reflejada por la misma. La radiación es preferiblemente una señal de radar de tipo pulso. La señal del radar puede proporcionarse mediante una unidad de radar de pulsos convencional. El radar incluye unos medios de sintonización adecuados que son capaces de controlar las características espectrales, por ejemplo la potencia y el ancho de banda de la señal de radar emitida. Las características espectrales de la señal de radar emitida se controlan de manera que mediante la irradiación adecuada de una sustancia, una respuesta de frecuencia dependiente de la composición de la sustancia pueda ser detectada por el receptor.

Sustancias adecuadas cuya composición y/o estructura pueda ser detectada por el dispositivo incluyen sólidos, líquidos y sustancias compuestas como, por ejemplo, polvos, suelo o sedimento. Las sustancias líquidas pueden ser mezclas y/o emulsiones (por ejemplo, aire/aceite, etc.).

El análisis espectrométrico de los datos obtenidos por el radar se lleva a cabo en un ordenador que es capaz de ejecutar un programa de software adecuado para implementar los análisis requeridos.

La respuesta de frecuencia obtenida por irradiación de una sustancia presenta características que el inventor cree son por lo menos parcialmente dependientes de la interacción de la señal transmitida con la estructura subatómica de la sustancia a analizar. El radar puede adicionalmente incluir dispositivos de filtrado adecuados para controlar las características espectrales, por ejemplo el ancho de banda y/o la polarización, de las señales.

De manera opcional, la señal del radar puede ser transmitida a una cámara capaz de retener una muestra de la sustancia.

En determinadas formas de realización de la invención, la señal transmitida se controla para que las condiciones de resonancia, es decir, las ondas estacionarias, sean configuradas dentro del radar. Preferentemente, las condiciones de resonancia se dan dentro de las cavidades de transmisión/recepción que rodean las antenas. Se pueden generar condiciones de resonancia adicionales dentro de la sustancia y/o dentro de una cámara que contenga la sustancia. Tales condiciones de resonancia pueden establecerse sintonizando selectivamente los parámetros de la señal emitida hasta que el espectro de la señal recibida indique condiciones de resonancia.

El radar se configura preferentemente de manera que sea capaz de proporcionar un haz altamente colimado o selectivamente enfocado sobre un alcance deseado.

Las condiciones de frontera para las ondas estacionarias resonantes son por lo menos parcialmente dependientes de las fronteras superficiales de la sustancia misma, y pueden verse adicionalmente afectadas por cualquier estructura interna dentro de la sustancia. Los materiales compuestos, por ejemplo, pueden mostrar unas condiciones de frontera más complejas que pueden permitir determinar la estructura de la sustancia; por ejemplo, se puede determinar hasta cierto punto el grado de granularidad de una muestra en polvo utilizando el radar.

La invención, en sus diversos aspectos, variantes y características opcionales y preferentes, se define en las Reivindicaciones adjuntas en la presente memoria.

ES 2 328 724 T3

A continuación se describirán las formas de realización de la invención, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Fig. 1 es un diagrama de bloques de un sistema de radar que implementa un aspecto de la presente invención;

La Fig. 2 es un diagrama de bloques de una forma de realización preferente de un sistema de radar similar al de la Fig. 1;

(Figs. 3A, 3B y 4 suprimidas - véase el documento EP 1210587 B);

La Fig. 5A es una vista en sección lateral de un conjunto de antena para su uso como transmisor o receptor que implementa un aspecto adicional de la invención;

La Fig. 5B es una vista en sección lateral de una primera variante del conjunto de antena de la Fig. 5A;

La Fig. 5C es una vista en sección lateral de una segunda variante del conjunto de antena de la Fig. 5A;

La Fig. 5D es una vista en sección lateral de una tercera variante del conjunto de antena de la Fig. 5A;

La Fig. 5E es una vista en sección lateral del conjunto de antena para su uso como transmisor o receptor, similar a la de la Fig. 5A;

Las Figs. 5F a 5N son unas vistas posteriores esquemáticas que ilustran variantes de conjuntos de antena del tipo mostrado en la Fig. 5E;

La Fig. 6A es una vista en sección de un radar configurado para la operación en modo de cámara según una forma de realización de la invención;

La Fig. 6B es una vista en sección de un dispositivo configurado según una variación de la forma de realización de la Fig. 6A;

La Fig. 7A ilustra un ejemplo de una disposición de un radar para operar en modo de reflexión de acuerdo con una forma de realización adicional de la invención;

La Fig. 7B ilustra una disposición adicional de un radar para operar en modo de transiluminación de acuerdo con una forma de realización adicional de la invención;

Las Figs. 8A a 8B son dibujos que ilustran diversas formas de realización de la invención adecuadas para la detección y/o obtención de imágenes y/o catalogación remota de sustancias/objetos;

La Fig. 9 es un dibujo que ilustra una forma de realización del radar de acuerdo con la invención adecuada para el escaneo del lecho marino;

La Fig. 10 es un dibujo que ilustra otra forma de realización del dispositivo que implementa la invención adecuada para el escaneo del lecho marino;

La Fig. 11A muestra un ejemplo de un microscopio equipado con conjuntos de antena de transmisión y recepción de acuerdo con una forma de realización adicional de la invención.

La Fig. 11B muestra el movimiento relativo de una antena de transmisión y de una antena de recepción de acuerdo con una forma de realización adicional de la invención.

La Fig. 12 es una tabla que resume diversos parámetros tal como se utilizan en una diversidad de formas de realización de la invención.

La Fig. 13 es una imagen grabada utilizando el radar según la invención.

En primer lugar, se describirá un dispositivo que implementa diversos aspectos de la invención.

La Fig. 1 es un diagrama de bloques genérico que ilustra la arquitectura básica de los sistemas de radar de acuerdo con la invención. Una unidad de radar de pulsos 21 es alimentada por una fuente de alimentación 20. La unidad de radar 21 está conectada a un conjunto de antena o array de antenas de transmisión ("Tx") 2 y a un conjunto de antena o array de antenas de recepción ("Rx") 3. La unidad de radar 21 puede ser de tipo convencional, convenientemente un conjunto de georadar (GPR), capaz de proporcionar pulsos de señal controlados al conjunto de antena Tx 2 y de recibir y procesar señales de retorno recibidas por el conjunto de antena Rx 3 e incluye medios de entrada/salida adecuados para transmitir y recibir señales de tipo pulso. La configuración general, controles, etc. de los conjuntos de radar de este tipo resultarán bien conocidos para los expertos en la materia y no se describirán en detalle en la presente memoria. Los controles para la unidad de radar 21 permiten controlar las características del pulso transmitido, incluyendo tales

características, por ejemplo, el perfil del pulso, anchura, duración y energía. Para fines de la presente invención, el conjunto de radar 21 actúa fundamentalmente como un generador de pulsos para accionar la antena Tx.

La unidad de radar 21 está conectada a un convertidor analógico/digital (A/D) 22 y a una unidad de control 25, para controlar la operación de la unidad de radar 21 y para recibir las señales analógicas recibidas por la unidad de radar por medio de la antena Rx 3 y para convertir las señales analógicas a la forma digital. El convertidor A/D y la unidad de control 22, 25 son a su vez conectados a los medios 23 de procesamiento y monitorización, que por lo general comprenden un ordenador personal adecuadamente programado, con unos medios 24 de almacenamiento de datos asociados de cualquier tipo o tipos adecuados (disco duro y/o cinta y/o CD-ROM de escritura, etc.). El ordenador 23 generalmente incluye un dispositivo de monitorización adecuado (no mostrado).

La fuente de alimentación 20 puede ser una red eléctrica, o un generador y/o una batería. La fuente de alimentación 20 puede proporcionarse internamente dentro de la unidad 21 de generación de pulsos o externamente. Por lo general, la fuente de alimentación 20 es una fuente de CC de 12 voltios que puede ser la alimentación de la red eléctrica convertida a de 12 V de CC, o de manera alternativa, especialmente en formas de realización portátiles de la invención, un generador de 12 V y/o una batería de 12 V de CC.

La unidad de radar, el convertidor A/D y la unidad de control del ordenador pueden combinarse en una diversidad de configuraciones en dispositivos hechos a medida. Tal como se ilustra, el sistema preferentemente comprende de una unidad de radar estándar, un ordenador estándar con un software adecuado para los procedimientos de la presente invención, y un convertidor A/D construido especialmente y una unidad de control.

El ordenador es convenientemente un ordenador portátil (laptop) robusto con un procesador convenientemente potente, por ejemplo, un procesador de tipo Pentium, y una memoria (RAM) y una capacidad de almacenamiento masivo adecuados.

El convertidor A/D 22 está preferentemente diseñado para que durante su uso sea capaz de recibir por lo menos tres entradas de señal. También se puede proporcionar una entrada de señal adicional, por ejemplo una entrada de datos de voz.

El sistema puede operar en por lo menos uno de los tres modos generales de operación, de acuerdo con la invención: modo de "cámara" en el que una muestra de material sometido a investigación es encerrada en una cámara, estando la antena Tx dispuesta para irradiar el interior de la cámara y estando la antena Rx dispuesta para recibir las señales modificadas por la interacción de las señales transmitidas con la cámara y sus contenidos; modo de "transiluminación" en el que la antena Tx está dispuesta para transmitir señales a través de una muestra de un material o un objeto, cuerpo o estructura, etc. sometida a investigación y la antena Rx está dispuesta para recibir señales que han pasado a través de la muestra, objeto, etc.; y el modo de "reflexión" en el que la antena Rx recibe señales transmitidas por la antena Tx y reflejadas por una muestra, objeto, cuerpo o estructura etc. Estos diversos modos de operación serán discutidos más detalladamente a continuación. Los diversos modos de operación se utilizan para una diversidad de funciones de obtención de imágenes, cartografiado, medición y catalogación, como también se describirá más detalladamente en lo sucesivo en la presente memoria.

La Fig. 2 ilustra una forma de realización preferente de un sistema de radar multiuso de acuerdo con la invención que puede utilizar una variedad de tipos de antenas de transmisión y recepción, conjuntos de antena o arrays de antena, incluyendo las antenas y conjuntos de antena preferentes descritos a continuación en la presente memoria.

En referencia a la Fig. 2, el sistema comprende una unidad de control de radar (RCU) 500, un ordenador 506, una unidad transmisora 507, una unidad de recepción 508, una antena de transmisión 550, una antena de recepción 552 y una fuente de alimentación 519.

La RCU tiene su propia placa base con un procesador 501, un controlador DMA 502, un módulo de memoria intermedia 503 y un controlador de entrada/salida 504, todos ellos unidos a un bus de sistema 505. El controlador de E/S 504 está directamente conectado al ordenador externo 506, que controla todas las configuraciones digitales, almacenamiento de datos y análisis de datos. La RCU 500 proporciona las señales de tiempo para controlar las unidades de transmisión y recepción 507 y 508, que están directamente conectadas a las antenas de transmisión y recepción 550, 552. Las antenas 550, 552 pueden ser elementos únicos o múltiples. Las señales de tiempo están controladas por parámetros enviados desde el ordenador 506 a la RCU 500. La RCU 500 también transmite datos digitalizados desde la unidad receptora 508 de vuelta al ordenador 506. La RCU 500 consiste en una lógica analógica y digital con una unidad de procesamiento central programable (CPU) 501.

La RCU establece una Frecuencia de Repetición de Pulsos (PRF). La unidad transmisora 507 consiste básicamente en un generador de pulsos 512 diseñado para producir pulsos fuertes con características, incluyendo la PRF, determinadas por la RCU. El pulso está limitado por el alto voltaje, corriente y potencia requeridos. Extender la anchura del pulso reduce el voltaje y la corriente necesarios para la misma energía media de pulso. Un pulso demasiado corto producirá una energía de frecuencia demasiado alta que no resulta necesaria para determinadas aplicaciones en las que las frecuencias altas son absorbidas en mayor medida que las frecuencias bajas en el sujeto sometido a examen (por ejemplo el suelo en aplicaciones de la subsuperficie del suelo). Pueden resultar necesarias frecuencias más altas para

ES 2 328 724 T3

otras aplicaciones que incluyen los modos de operación de alcance poco profundo (por ejemplo, para aplicaciones de escaneo de portaobjetos al microscopio en estudios médicos de tejidos).

En la unidad transmisora 507, el pulso se desencadena mediante un pulso de “Desencadenamiento” enviado desde la RCU 500, por medio de un módulo PRF 509 que canaliza el pulso de Desencadenamiento a través de una línea de retardo fijo 510. El pulso de Desencadenamiento 511 es responsable del desencadenamiento del pulso transmitido en la unidad transmisora 507. Un control de retardo/ganancia 513 en la RCU 500 controla un control de ganancia 514 para generar una ganancia fija variable con el tiempo (TVG) y una línea de retardo fijo 510 para la unidad transmisora 507. El mismo control de retardo/ganancia 513 operado por el módulo PRF 509 también crea una TVG variable para la unidad amplificadora receptora 518 y una línea de retardo variable 515 para un módulo de muestreo y retención 516 de la unidad receptora 508. La velocidad a la que los pulsos son transmitidos se denomina frecuencia de repetición de pulsos (PRF) y el módulo PRF 509 establece la PRF requerida por cada modo de operación concreto del sistema. La PRF tiene que ser lo suficientemente larga para permitir que se lleve a cabo la conversión de analógico a digital (A/D) por el convertidor A/D 517 de la unidad receptora 508 y para cubrir la ventana temporal requerida para la aplicación de medición de instrumentos particular.

La unidad receptora 508 incluye un amplificador con bajo nivel de ruidos 518 que amplifica la señal analógica recibida por medio de la antena receptora 552, que es muestreada por el módulo de muestreo y retención 516 y digitalizada por el convertidor A/D 517 cuando es requerido por una señal digital de la RCU 500.

El convertidor A/D 517 es responsable del muestreo de analógico a digital y la frecuencia de muestreo digital idealmente no debería ser mayor que la distancia temporal entre imágenes (píxeles) de los datos de la señal de salida. Un intervalo de muestreo menor resulta en un “aliasing” o solapamiento (es decir, un incremento de ruido) de la señal. Un intervalo de muestreo más largo atenúa los componentes de más alta frecuencia de la señal. La ventaja de la TVG variable desde el control de ganancia 514 al amplificador receptor es que la conversión A/D puede llevarse a cabo con la misma precisión con un menor número de bits.

Los datos digitales obtenidos a partir del convertidor A/D permiten el análisis en tiempo real de

- i) una señal de situación del posicionamiento o marca de referencia, que posibilita la localización de una sustancia/imagen a determinar;
- ii) información de una señal de obtención de imágenes;
- iii) información de catalogación - es decir las características espectrales de la sustancia/objeto escaneado;
- iv) una voz superpuesta para ser grabada adicionalmente por el usuario mediante un micrófono adecuado como una señal digital.

Durante el uso del radar, el convertidor A/D convierte la señal recibida en un formato analógico a una señal digital de 12 bits y combina esto con un pulso sincronizado y datos de situación electrónicos. La señal se almacena en la memoria intermedia y se sincroniza con una señal del ordenador de 16 bits para tratar los datos. Los datos de las imágenes son convertidos a archivos de imagen de 8 bits.

El ordenador 506 controla todas las funciones de las demás unidades y proporciona una interfaz de usuario para la selección de los parámetros de control y estudio, toma de datos, mejora de datos, producción de imágenes, análisis de imágenes, catalogación de materiales, ensayo de materiales y registro de datos, etc.

Todo el sistema del radar se alimenta bien mediante la red eléctrica 519 o conjunto de batería-convertidor de potencia 520.

Existen cuatro enlaces primarios de señales, datos y control entre los componentes del sistema: del transmisor 507 al receptor 508, de la RCU 500 al transmisor 507, del receptor 508 a la RCU 500, y de la RCU 500 al ordenador 506.

El enlace del transmisor al receptor se da por medio de las antenas 550, 552 y medios intermedios como, por ejemplo, el aire u otros gases, agua u otros líquidos, tierra, vacío etc. También puede haber un enlace transmisor-receptor involuntario a través de los cables RCU-transmisor y los cables receptor-RCU si son conductores. Cuando sucede esto, tocar los cables puede causar un cortocircuito eléctrico que puede afectar a los datos de salida. Los enlaces RCU-transmisor y receptor-RCU por lo general serán metálicos o de fibra de vidrio, pero pueden ser conexiones inalámbricas como, por ejemplo, de radio u ópticas a través del vacío y/o medios gaseosos y/o líquidos. Es preferible evitar el metal por las razones anteriormente mencionadas. El enlace RCU-ordenador por lo general será una conexión de puerto serie o paralelo, puesto que las velocidades de datos requeridas no son inusualmente altas. Otros enlaces posibles incluyen USB, PCMCIA, IrD o módem radio.

A continuación se describirán ejemplos de diversas antenas y conjuntos de antena, que implementan aspectos adicionales de la invención, que son particularmente adecuados para los fines de la invención cuando se opera en uno o más de sus diversos modos.

ES 2 328 724 T3

Las Figs. 5A a 5D son vistas en sección lateral de formas de realización preferentes de los conjuntos de antena de acuerdo con la invención que se pueden utilizar como receptores y/o transmisores en diversos sistemas y procedimientos que implementan la invención. Estas formas de realización son aplicables a todos los diversos modos de operación y funciones de acuerdo con los diversos aspectos de la invención; es decir modos de cámara, transiluminación y reflexión y funciones de obtención de imágenes/cartografiado y catalogación. La configuración de los conjuntos de antena es escalable para una amplia gama de dimensiones para diferentes aplicaciones.

En el extremo frontal 203 del conjunto, se proporciona un sistema de enfoque mediante una lente adecuada 204, por ejemplo del tipo de lente de la Placa Zonal de Fresnel (FZP). Las lentes FZP comprenden dos aberturas 224, 225 concéntricas en forma de hendiduras con forma de anillo separadas por un espaciador de anillo 226, por ejemplo un anillo reflectante interno de extremo frontal metálico (por ejemplo de latón pulido). El cuerpo principal del conjunto consiste en un tubo 227, preferentemente con una composición metálica reflectante, por ejemplo latón pulido o acero inoxidable. Se proporciona un reflector 232 de pared posterior en forma de anillo metálico cóncavo (nuevamente se puede utilizar latón pulido o cualquier otro material reflectante adecuado) que está unido al tubo 227 y a un conector 233 que constituye el cátodo. A través del centro del reflector 232 de pared posterior sobresale un elemento 230 que constituye el ánodo, preferentemente un tubo hueco estrecho, que comprende, por ejemplo, cobre, y que está separado de las paredes del cátodo puestas a tierra del conjunto mediante un material aislante 231.

De acuerdo con la presente invención, el diámetro D_A del elemento 230 que constituye el ánodo es un múltiplo exacto del diámetro interno D_T del tubo 227 y/o la parte aislada del elemento 230 que constituye el ánodo sobresale dentro del interior del tubo 227 una distancia L_A que es un múltiplo exacto de la distancia de reflexión total L_T desde el reflector 232 de pared posterior hasta el anillo de reflexión 226 de pared frontal.

Por ejemplo, una anchura de ánodo de 2 mm y un diámetro interior de tubo de 10 mm da una relación $D_A:D_T$ de 1:5. Idealmente, las relaciones entre el diámetro del ánodo y el diámetro del tubo son números enteros y de manera similar las relaciones entre la longitud del ánodo y la longitud del tubo son números enteros. En este caso, una longitud de ánodo L_A de 19,05 mm y una longitud interior de tubo L_T de 190,5 mm entre el reflector interno de pared posterior 232 y el reflector interno de pared frontal 226 da un parámetro de la relación de la onda estacionaria longitudinal $L_A:L_T$ de 1:10. Esto equilibra el parámetro de relación lateral $D_A:D_T$ de 1:5 para alcanzar una resonancia de onda estacionaria óptima en el tubo, antes de que la onda sea lanzada a través de la abertura.

Estas proporciones se seleccionan para optimizar las condiciones de reflexión resonantes en el conjunto. El efecto de amplificación resonante y la propagación de las señales a través del conjunto se optimiza adicionalmente mediante la selección apropiada de un material de revestimiento dieléctrico 228 que básicamente rellena el interior del tubo 227 (y, preferentemente, el interior del tubo que forma el ánodo 230, para maximizar la constante dieléctrica efectiva del conjunto por un material dieléctrico dado). El material de revestimiento 228 tiene preferentemente una constante dieléctrica alta para proporcionar una amplificación resonante óptima a través del conjunto de antena. El material dieléctrico puede ser un líquido o un sólido o una mezcla de los mismos. Preferentemente, el material dieléctrico comprende un sólido en polvo compactado dentro del interior del tubo 227.

Un cable de alimentación del ánodo conecta el conector 236 del elemento que constituye el ánodo a un cable conductor 235 altamente resistivo (por ejemplo 75 Ω). El reflector posterior 232 puesto a tierra conectando un cable de tierra desde el cable conductor 235 al conector 237 del elemento que constituye el cátodo.

La configuración del conjunto es tal que la energía transmitida radiada desde el ánodo 230 está altamente colimada dentro del cuerpo del conjunto. Cuando se utiliza el conjunto como transmisor las hendiduras concéntricas con forma de anillo 224, 225 de enfoque en el extremo de transmisión tienen el efecto de enfocar el haz colimado que sale del conjunto a una distancia predeterminada de la abertura de salida. Dependiendo de la configuración de las hendiduras de enfoque con forma de anillo, y/o del uso de elementos de enfoque adicionales como, por ejemplo, las lentes dieléctricas descritas a continuación, se pueden modificar las características del haz transmitido de manera que la distancia focal del conjunto se pueda variar dentro de un rango amplio, de manera efectiva desde la abertura de salida hasta el infinito, para diferentes aplicaciones.

La Fig. 5B muestra un conjunto de antena similar al de la Fig. 5A, que incluye adicionalmente una lente dieléctrica cilíndrica 238 con superficies finales planas. Este tipo de lentes modifican el haz de salida del conjunto de una manera que depende de la distancia de la superficie del extremo exterior de la lente con respecto a la distancia focal inherente del conjunto principal, y del índice refractante y de las propiedades dieléctricas de la lente con respecto a las de los materiales de revestimiento dieléctricos dentro del conjunto y con respecto al medio/medios externos dentro de los que se transmite el haz desde el dispositivo. Esta forma de realización es particularmente útil cuando la superficie de la lente se encuentra a la distancia focal inherente del conjunto y está en contacto con una superficie sometida a examen, actuando como elemento espaciador para un enfoque preciso.

La Fig. 5C muestra un conjunto de antena adicional similar al de la Fig. 5A. En este caso el conjunto va equipado con una lente dieléctrica cilíndrica plano cóncava 239. En comparación con la forma de realización de la Fig. 5B, este tipo de lente modifica adicionalmente el haz dependiendo de la geometría de la superficie cóncava, además de sus propiedades refractantes y dieléctricas. Un haz que sale de la forma de realización de la Fig. 5A divergirá más allá de la distancia focal del conjunto. Una lente plano cóncava de este tipo puede configurarse para reducir tal divergencia o para volver a enfocar el haz o para colimar el haz.

La Fig. 5D muestra todavía otro conjunto de antena similar al de la Fig. 5A. En este caso el conjunto va equipado con una lente dieléctrica cilíndrica plano convexa 240. Este tipo de lente tendrá un efecto contrario al de la Fig. 5B. Cuando se utiliza el conjunto como receptor, incrementará la capacidad del conjunto de recoger la radiación incidente.

En las formas de realización de las Figs. 5A a 5D, el cuerpo tubular del conjunto actúa como el cátodo de la antena y el ánodo se extiende a lo largo del eje longitudinal central del tubo. La Fig. 5E muestra una forma de realización alternativa, similar a la de la Fig. 5A excepto en que tanto el ánodo como el cátodo comprenden elementos 602, 604 alargados, preferentemente tubulares, situados dentro del tubo exterior 606, paralelos a y dispuestos simétricamente respecto al eje longitudinal del mismo. Las dimensiones (particularmente las longitudes y los diámetros) de los elementos 602 y 604 que constituyen el ánodo y el cátodo son preferentemente proporcionales a las dimensiones correspondientes del tubo 606, como con el ánodo de las formas de realización de las Figs. 5A - 5D. Asimismo, las distancias de separación entre los elementos 602 y 604 y entre los elementos y el tubo exterior 606 están de manera similar en proporción.

La disposición de los elementos 602 y 604 de la antena en la Fig. 5E permite que un par de conjuntos de antena similares sean de polarización cruzada una respecto a la otra puesto que los conjuntos pueden rotar sobre sus ejes longitudinales de manera que los planos en los que descansan los elementos 602 y 604 de cada conjunto se pueden disponer en ángulos rectos uno respecto al otro.

El número y disposición de elementos que constituyen el ánodo y el cátodo dentro de los conjuntos de antena pueden variar, como se ilustra en las Figs. 5F a 5N, que son unas vistas posteriores esquemáticas de conjuntos de antena similares a los de la Fig. 5E con una disposición de elementos diferente. Las Figs. 5F y 5I muestran conjuntos similares a los de la Fig. 5E con un elemento 602 que constituye el ánodo y un elemento 604 que constituye el cátodo. En la Fig. 5F, los elementos están orientados en ángulos rectos respecto a los de las Figs. 5I. Las Figs. 5G, 5H, 5J y 5K muestran conjuntos con múltiples elementos que constituyen los ánodos y los cátodos dispuestos en arrays lineales a lo largo de un diámetro del tubo exterior del conjunto, con las Figs. 5G y 5H mostrando los arrays orientados en ángulos rectos respecto a los de las Figs. 5J y 5K. Las Figs. 5L a 5N muestran otras formas de realización con múltiples elementos dispuestos en arrays cruciformes, estando los elementos situados a lo largo de dos diámetros del tubo en ángulos rectos unos respecto a otros. En tales formas de realización, la disposición de los ánodos y de los cátodos puede variar. Por ejemplo, los elementos a lo largo de un diámetro pueden ser todos ánodos y los elementos a lo largo del otro diámetro pueden ser todos cátodos, o los elementos situados a lo largo de dos radios adyacentes pueden ser ánodos y los elementos situados a lo largo de los otros dos radios pueden ser cátodos, permitiendo diferentes polarizaciones de los respectivos conjuntos. Los pares de conjuntos pueden estar orientados con los planos de sus arrays dispuestos en ángulos relativos diferentes de 90°, como por ejemplo 45°, para proporcionar otras polarizaciones relativas. Las conexiones eléctricas a los diversos elementos pueden ser conmutables de manera que se pueda configurar de manera selectiva un único conjunto con disposiciones diferentes de ánodos y cátodos. En todos los casos, las dimensiones relativas y las distancias de separación de los elementos y del tubo exterior están preferentemente en proporción como se ha descrito anteriormente.

A continuación se describirán los diversos modos básicos de operación de los sistemas de radar de acuerdo con la invención.

Las Figs. 6A y 6B ilustran modos de “cámara”, en los que una muestra de material o similar es encerrada en una cámara. Estas formas de realización operan por “transiluminación” de la muestra. Las formas de realización de las Figs. 3 y 4 también están destinadas a una operación en modo de cámara, pero no transiluminan la muestra de la misma manera que las formas de realización de las Figs. 6A y 6B.

A continuación, en referencia a la Fig. 6A, se ilustra una sección transversal de dos conjuntos de antena similares a los de la Fig. 5E, dispuestos para una operación en modo de cámara.

El dispositivo mostrado en general en 1 consiste en un conjunto transmisor 2 y un conjunto receptor 3 alineados básicamente de manera coaxial con una cámara 4 proporcionada en coalineación entre ambas.

El transmisor 2 y el receptor 3 consisten cada uno en una cavidad 5a y 5b respectivamente, por ejemplo un tubo o conducto hueco. Dentro del tubo 5a, un ánodo 6a y un cátodo 7a forman una antena de transmisión 8a que está dispuesta en alineación longitudinal con el eje del tubo XX'. Dentro del tubo 5b, un ánodo 6b y un cátodo 7b forman una antena de recepción 8b que está dispuesta en alineación longitudinal con el eje del tubo XX'.

Dentro de cada tubo 5a, 5b, los ánodos 6a, 6b y los cátodos 7a, 7b están básicamente rodeados por un material de revestimiento seleccionado por sus propiedades dieléctricas. Por ejemplo, las antenas 8a, 8b pueden estar sumergidas en agua destilada que se utiliza como revestimiento dieléctrico. Otra alternativa incluye mezclas de agua destilada y arena, o cualquier otra sustancia que tenga las propiedades dieléctricas deseadas. Cada tubo 5a, 5b es sellado adecuadamente en cada extremo 12a, 13a y 12b, 13b, respectivamente. Un sellante adecuado es, por ejemplo, una resina u otra sustancia eléctricamente aislante.

Los medios de enfoque 9a, 9b se proporcionan adyacentes a la cámara 4. En este caso, cada uno de los medios de enfoque 9a, 9b comprende una lente dieléctrica de una geometría seleccionada y una composición dieléctrica para permitir que la radiación emitida/recibida por la respectiva antena de transmisión 8a ó receptora 8b converja/diverja

ES 2 328 724 T3

según entra/sale de la cámara 4 respectivamente. Por ejemplo, en esta primera forma de realización de la invención, las lentes 9a, 9b del transmisor y del receptor, respectivamente, ambas se seleccionan para tener una composición cérica con una alta resistividad, por ejemplo, del orden de 10^9 megohmmetros.

5 Las dimensiones relativas de cada ánodo 6a, 6b con respecto al correspondiente cátodo 7a, 7b y el material dieléctrico circundante y/o el tubo 5a, 5b se determinan para ser mínimamente proporcionales uno al otro como se ha descrito anteriormente. Por ejemplo, la anchura del ánodo 6a es proporcional a la anchura del cátodo 7a y al interior del diámetro del tubo 5a y la longitud del ánodo 6a es proporcional a la longitud total del tubo 5a.

10 Se cree que tal cambio de escala geométrico entre la antena y el revestimiento circundante, junto con las propiedades dieléctricas del revestimiento, ayudan a la formación de las oscilaciones de onda estacionaria resonantes. Las oscilaciones de onda estacionaria configuradas dentro del material dieléctrico contenido dentro del tubo de transmisión 5 pueden ayudar a intensificar y colimar la radiación emitida. Bajo tales condiciones, el transmisor 2 proporciona unos medios para generar un haz resonante y colimado de radiación a longitudes de onda seleccionadas que el receptor 3 es
15 capaz de detectar.

La geometría global del transmisor 2 y del receptor 3 está por consiguiente relacionada con el tamaño y la escala de la resolución requerida. Las propiedades dieléctricas del material de revestimiento seleccionado para rodear las antenas 8a, 8b son también importantes a este respecto ya que éstas afectarán a la velocidad de grupo V_g de la radiación emitida/recibida.
20

En la forma de realización ilustrada en la Fig. 6A, el transmisor 2 y el receptor 3 están dispuestos en alineación coaxial de manera que la cámara de muestras 4 es transiluminada.

25 Para catalogar una sustancia por determinación de sus características espectrales, se pueden utilizar otros criterios de selección para determinar los materiales de revestimiento de la antena adecuados y las dimensiones relativas y el tamaño total de los conjuntos de antena. En cada caso el objetivo es asegurar que se obtenga un detalle espectral suficiente a la resolución y escala deseadas. Para asegurar las condiciones óptimas, las anchuras y/o longitudes de los tubos 5a, 5b son múltiplos enteros de las anchuras/longitudes de las antenas internas 8a y 8b, respectivamente.

30 Volviendo a la Fig. 6A, en esta forma de realización de la invención el equipo de radar 1 es operado para catalogar/identificar una muestra 10 colocada dentro de la cámara 4. La cámara 4 en esta forma de realización está dispuesta en dos partes: una parte inferior 4a acoplada al transmisor 2 y una parte superior 4b acoplada al receptor 3. La muestra 10 se coloca en la parte inferior 4a. Por ejemplo, la cámara puede tener un diámetro interno de 40 mm y una profundidad interna de 40 mm por encima de la base del tubo.
35

En esta forma de realización, los tubos 5a, 5b tienen cada uno un diámetro interno de 16 mm, y la cámara 4 se sitúa de manera que la longitud total de transmisión interior del tubo transmisor 5a y la parte 4a de la cámara es de 330 mm y la longitud total de receptor del tubo de recepción 5b y la parte 4b de la cámara es de 295 mm. Las medidas en cada caso son paralelas a la dirección XX' y son medidas desde la interfaz de contacto entre la parte inferior 4a de la cámara y la parte superior 4b de la cámara cuando las cámaras entran en contacto en la configuración de transiluminación. Para un volumen interno de la cámara requerido, las lentes dieléctricas 9a, 9b se seleccionan para optimizar la convergencia/divergencia de la radiación emitida por los conjuntos de antena 2, 3 y la parte 4a de la cámara de muestras se sitúa dentro de una distancia máxima desde el transmisor 2, preferentemente no mayor que
45 300 mm.

En la forma de realización ilustrada en la Fig. 6A, cada antena 8a, 8b puede ser un array YAGI multiplegado con dos grupos aislados que contienen una pluralidad de elementos de cobre de alta calidad individualmente apantallados en el plano longitudinal del tubo XX'. Cada array se llena con el material dieléctrico seleccionado, como por ejemplo
50 agua destilada en este ejemplo, para hacer un par de antenas biestáticas dieléctricamente revestidas. La configuración anteriormente indicada permite obtener una adaptación de impedancias óptima a 50 ohm.

La radiación emitida por la antena de transmisión 8a se enfoca por medio de la lente de cera 9a de manera que la muestra 10 colocada en la parte inferior de la cámara 4a es irradiada. Cada lente de cera 9a, 9b en esta forma
55 de realización se extiende 4 mm dentro de la base de las partes 4a, 4b de la cámara, respectivamente. La parte de recepción 4b de la cámara se rellena con un dieléctrico adecuado, por ejemplo, aire. La radiación se reenfoca mediante la lente de cera 9b dentro del conjunto de antena de recepción 2 donde es detectada por la antena de recepción 8b.

60 En esta forma de realización, el tamaño de la cámara 4 limita el tamaño de los objetos a examinar: aparte de esta limitación se pueden catalogar una variedad de sustancias como, por ejemplo, materiales sólidos o composites, líquidos, gases, suelos, sedimentos o muestras en polvo. Por ejemplo, polvos de madera, suelos, harinas y aceites. Se pueden catalogar tanto sustancias orgánicas como inorgánicas.

65 Como ejemplo, si el volumen total de la cámara para la muestra 4 es de 45 ml, una muestra de, por ejemplo, 25 ml de la sustancia a catalogar se puede colocar dentro de la parte inferior 4a de la cámara. El aire ocupa el volumen de espacio restante de 20 ml dentro de la parte superior 4b de la cámara.

Para asegurar que la radiación electromagnética dispersa se reduzca al mínimo, se proporciona un blindaje electromagnético adecuado. Por ejemplo, seleccionando una sustancia metálica conductora (por ejemplo aluminio) para formar los tubos 5a, 5b y las partes 4a, 4b de la cámara y/o cubriendo adicionalmente la sustancia metálica con un material aislante adecuado (por ejemplo, plástico). La provisión de una capa de material aislante y material conductor es como se conoce en la técnica tal que los campos electromagnéticos dispersos etc. prácticamente se eliminan.

El conjunto de antena transmisor 2 se utiliza para generar un haz colimado resonante de señales de radar de pulsos. Estas señales de pulsos se configuran y controlan por una unidad generadora de pulsos como se ha descrito anteriormente en relación a las Figs. 1 y 2. En este ejemplo, el ancho de banda del pulso transmitido puede ser del orden de 2 MHz a 200 MHz. Se emplea una ventana temporal suficientemente grande como para asegurar que se hayan producido suficientes reflexiones dentro de los telescopios 2, 3 y la cámara 4. Por ejemplo, se puede utilizar una ventana temporal de 16 ns con un tiempo de intervalo entre pulsos de 100 ms.

La Fig. 6B muestra otra forma de realización que es una variación de la disposición de la Fig. 6A. En las Figs. 6A y 6B, los números de referencia similares hacen referencia a componentes y características similares o equivalentes. En esta forma de realización, los conjuntos de antena de transmisión y recepción 2 y 3 están nuevamente alineados en modo de transiluminación, con una cámara adjunta 4 que contiene y oculta por completo un recipiente de muestras 400 para la muestra a catalogar. En este ejemplo los conjuntos de antena de transmisión y recepción pueden ser similares a los de las Figs. 5A y 5B. Esta forma de realización difiere de la de la Fig. 6A en que las cavidades interiores de los tubos 5a y 5b están compactadas con un material altamente dieléctrico, como, por ejemplo, el titanato de bario, para el cual ϵ_T es igual a 4.000 a temperatura ambiente. Dentro de los tubos 5a, 5b, los ánodos 6a, 6b se sitúan en el centro, extendiéndose a lo largo del eje XX', y los cátodos 7a, 7b son proporcionados por las paredes interiores de los tubos 5a, 5b.

Los medios de enfoque 9a, 9b preferentemente tocan la parte superior e inferior respectivamente del recipiente de muestras 400. En este caso, los medios de enfoque 9a, 9b comprenden dos aberturas de hendidura con forma de anillo concéntricas 224a, 224b, 225a y 225b, separadas por un espaciador 226a, 226b, como se ha descrito anteriormente en relación a la Fig. 5.

En este caso la cámara 4 comprende dos células sólidas metálicas 4a, 4b atornilladas conjuntamente para formar una unidad blindada de radio frecuencia (RF) sellada. Las células 4a, 4b preferentemente están hechas de metales no magnéticos, como aluminio o latón, por ejemplo.

Esta disposición de la cámara de catalogación ha sido optimizada para eliminar prácticamente los campos electromagnéticos dispersos.

El ancho de banda de las señales recibidas depende del tamaño y la configuración de las antenas 8a, 8b y la cámara de muestras 4. Si se va a catalogar la sustancia de muestra, sus características espectrales se determinan restando la señal recibida del dispositivo en condiciones de resonancia cuando la cámara de muestras 4 está vacía a la señal recibida en condiciones similares cuando una sustancia a ser catalogada es colocada dentro de la cámara 4. Las características espectrales de los datos resultantes pueden ser a continuación comparadas con las características espectrales de materiales conocidos que han sido previamente obtenidas de una manera similar y almacenadas en una base de datos.

Es importante proporcionar una ventana temporal suficientemente larga para que el patrón de radiación creado dentro de la cámara de ensayos 4 pueda crear las condiciones de resonancia dentro de la muestra (esto también se aplica a otros modos de catalogación de operación tal como se describirá a continuación). El pulso de radar transmitido puede ajustarse de manera que la señal detectada indique que se han establecido las condiciones de radiación resonante adecuadas. El segundo modo de operación se refiere al uso de conjuntos de antena 200, como por ejemplo los ilustrados en la Fig. 5, siendo utilizados en una configuración de transiluminación, sin el uso de una cámara de muestras, como la ilustrada en la Fig. 6B, que muestra conjuntos de antena Tx y Rx alineados axialmente 201, 202, como los de las Figs. 5A - 5N. Debe entenderse que los modos de transiluminación de operación no requieren necesariamente que las antenas Tx y Rx estén alineadas axialmente. Las antenas pueden ser paralelas o estar en ángulo una respecto a la otra en un lado del objeto etc. sometido a examen, con un reflector colocado detrás del objeto de manera que la señal de la antena Tx pase a través del objeto y se refleje de vuelta al receptor por medio del reflector.

Tal como se muestra en la Fig. 7B, los conjuntos están alineados coaxialmente para quedar uno frente al otro y se colocan a una separación de enfoque óptima con una sustancia/objeto de ensayo situado a medio camino entre los dos sensores para conseguir un efecto de transiluminación equilibrado. Los conjuntos de este tipo pueden también utilizarse en las disposiciones ilustradas en las Figs. 6A y 6B.

En este modo, el dispositivo proporciona un medio para obtener imágenes de o catalogar la composición interna o los contenidos de, por ejemplo, el equipaje en una cinta transportadora. En una aplicación como ésta, los conjuntos de antena 201, 202 se disponen a cada lado de la cinta para transiluminar el equipaje a medida que se mueve a lo largo de la cinta. Se pueden proporcionar adicionalmente reflectores metálicos bajo la cinta y alrededor de los lados/parte superior de cualquier protector circundante.

El tercer modo de operación se refiere a los conjuntos de antena 200 utilizados en una configuración paralela o en un ángulo uno respecto al otro con las aberturas de los conjuntos de antena Tx y Rx encarando la misma dirección y habiendo sido la señal recibida desviada de vuelta hacia su dirección de origen (por ejemplo reflejada o retrodispersada). Las Figs. 7A, 8A a 8D, 9 y 10 ilustran ejemplos de este modo de operación. Los conjuntos de antena se pueden utilizar en una configuración estacionaria o uno o ambos de los conjuntos de antena pueden moverse con respecto a la sustancia/área a escanear y/o la sustancia/área puede moverse con respecto a los conjuntos de antena.

Por ejemplo, la Fig. 7a es un diagrama esquemático que ilustra la disposición de los conjuntos de antena de recepción y transmisión 201, 202 como se ha descrito anteriormente, en una aplicación GPR adecuada para detectar y/o obtener imágenes y/o catalogar remotamente objetos y/o sustancias que se encuentran bajo tierra. El conjunto transmisor 201 y el conjunto receptor 202 se pueden montar en vehículos terrestres y/o marinos adecuados. Por ejemplo, la Fig. 8A ilustra cómo el dispositivo puede montarse en la parte posterior o frontal de un vehículo terrestre. De manera alternativa, el dispositivo podría proporcionarse para sobresalir a través del suelo o casco de un vehículo marino como muestra la Fig. 8D. Dependiendo de la escala de los conjuntos de antena, el dispositivo puede ser sumamente portátil para aplicaciones, como ilustran las Figs. 8B y 8C. La Fig. 8B muestra un dispositivo portátil adecuado para operar en tierra mientras que la Fig. 8C muestra un dispositivo portátil adecuado para operar sumergido por un buzo.

La Fig. 9 ilustra como un conjunto de antena de transmisión 201 y un conjunto de antena de recepción 202 puede disponerse en paralelo a lo largo de una soport 250 que forma parte de una plataforma móvil sumergida 280 que puede ser acoplada, por ejemplo, a la parte frontal de un vehículo operado a distancia 260 adecuado para operar en un lecho marino 270.

La Fig. 10 ilustra cómo una pluralidad de pares de arrays de conjuntos de antena de transmisión 201 y conjuntos de antena de recepción 202 pueden disponerse sobre la parte inferior de soportes tipo pontón 300a, 300b para su uso con vehículo marino o una plataforma semisumergible. Una configuración como ésta del dispositivo de radar permite la detección del fondo marino, la obtención de imágenes y la catalogación de materiales para la industria petrolera.

Los pares de antenas están espaciados a lo largo del pontón, preferentemente equidistantes de los pares de antenas adyacentes en el array. Por lo menos un array de antenas de recepción está dispuesto paralelo al correspondiente array de pares de antenas de transmisión para permitir el sondeo de una reflexión y refracción de gran ángulo (WARR). Se proporciona por lo menos un array de pares de antenas 310a, 310b y 320a, 320b de este tipo en cada pontón, por ejemplo, se ilustran dos por pontón en la Fig. 10, para formar un total de ocho arrays de conjuntos de antena. Utilizando este dispositivo, se puede recoger una variedad de información estructural y composicional de gran escala del lecho marino y dentro del mismo, por ejemplo, se puede utilizar el dispositivo en un “modo de búsqueda” para detectar características subterráneas y del lecho marino.

El inventor ha detectado embarcaciones naufragadas y el dispositivo puede ser adecuado para la detección de reservas de petróleo y gas utilizando este dispositivo. Elementos como las embarcaciones naufragadas pueden estar enterrados a grandes profundidades por debajo del lecho marino. Aunque es posible detectar dichos elementos con un simple par de conjuntos de antena en un área de búsqueda relativamente pequeña, puede utilizarse un array de antenas y, preferentemente, un array múltiple de antenas. Múltiples arrays podrían escanear muchas líneas en un barrido en dirección hacia delante que cubra un área de búsqueda grande en un corto espacio de tiempo.

Además, permitiendo al dispositivo permanecer *in situ* y escanear un área fija por un periodo de tiempo, (es decir, “observar” en el modo de estudio), es posible registrar una serie de imágenes que indiquen el movimiento de sustancias como, por ejemplo líquidos (por ejemplo, petróleo) y gases (por ejemplo, filtraciones de gas natural).

En la configuración WARR ilustrada en la Fig. 10 los arrays proporcionados operan en tándem. Por ejemplo, el array de transmisión 310a emitirá señales que son reflejadas y registradas por el array de recepción 320b, y el array de transmisión 320a emitirá señales que son preferentemente registradas por el array de recepción 310b, etc. Esto permite escanear de manera eficaz una pluralidad de líneas 330 a lo largo del lecho marino. En el ejemplo ilustrado, pueden escanearse nueve líneas 330. En el modo WARR puede seleccionarse cualquier conjunto de antena como transmisor y las reflexiones pueden ser recibidas desde cualquier antena de recepción en cualquier orden específico y periodo de muestreo para permitir incrementar la separación entre Tx y Rx (ver Fig. 10) para fines de triangulación y cartografiado de precisión. En caso de que sea llevado a cabo este procedimiento de triangulación, entonces puede producirse una tabla detallada de propiedades dieléctricas incluyendo profundidades, velocidades de radas, grosor entre capas, velocidades entre capas, y constantes dieléctricas entre capas.

Las dimensiones de las aberturas de los conjuntos de antena pueden optimizarse para adecuar la longitud de la trayectoria y los requerimientos de colimación del haz. Para sondeos más profundos y longitudes de trayectoria más largas puede resultar necesario variar los medios de enfoque, por ejemplo, ajustando unas aberturas estrechas con una gama de hendiduras circulares opcionales. A continuación éstas pueden ajustarse a los telescopios para proporcionar el enfoque en los alcances de campo próximos/lejanos óptimos. También pueden utilizarse lentes dieléctricas como las ilustradas en las Figs. 5B a 5D para estos fines. Los criterios de selección de los medios de enfoque siguen lo que es conocido en la técnica del diseño de radares y procedimientos de selección y están basados en simples consideraciones de geometría, aspectos temporales y velocidad de plataforma.

Para la operación de campo, los vehículos terrestres típicos incluyen ATVs, pequeñas plataformas robóticas, que pueden ser llevadas por una persona y/o operadas a mano o montadas en pista o raíl para túneles o minas, o que pueden ser llevadas por una persona y operadas desde plataformas que pueden elevarse para el escaneo de superficies de paredes verticales de edificios, túneles o estructuras de puentes. Los vehículos marinos típicos incluyen lanchas hinchables, aerodeslizadores, botes pequeños, remolcadores, embarcaciones para el estudio de tipo hidrográfico/sísmico, o plataformas semisumergibles de la industria petrolífera con pontones adecuados para el montaje de grandes conjuntos de tuberías, o ROVs, o vehículos submarinos autónomos (AUVs) o Plataformas Autoelevadizas o Plataformas Perforadoras o Plataformas de Producción Autónomas. Los conjuntos de antena por lo general se configuran básicamente verticalmente y se orientan de manera que puedan observar la tierra/el lecho marino, a unas profundidades capaces de resolver estructuras de reservas de petróleo y gas. En un ejemplo específico de detección de sustancias subyacentes al lecho marino, los conjuntos de antena 201, 202 pueden ser del orden de 24 m de longitud por 8 pulgadas de diámetro interno y pueden comprender dos carcassas de acero de alta calidad tipo oleoducto de 12 m de longitud por 8 pulgadas (de diámetro interno) soldados a otras dos carcassas de 12 m por 8 pulgadas para formar un par de conjuntos de transmisión y recepción de grandes dimensiones de aproximadamente 24 m de longitud. El inventor cree que dicha geometría de conjuntos de antena tiene una resonancia natural que amplifica la señal del radar en un factor de 180.

El dispositivo puede además montarse en vehículos aéreos/espaciales, por ejemplo, pequeños helicópteros o vehículos accionados por control remoto (RPVs) como, por ejemplo, vehículos de aeromodelismo, o globos, zeppelines o autogiros pilotados. Pueden utilizarse plataformas espaciales para investigaciones geológicas de las subsuperficie de lunas, cometas, y/u otros planetas.

Las selección de configuraciones de antena y tamaños de abertura apropiadas permite resolver diferentes escalas, por ejemplo, objetos/sustancias subterráneas o submarinas (ver por ejemplo, las Figs. 8C, 8D, 9 y 10).

La Fig. 11A ilustra una forma de realización adicional de la invención con un conjunto de antena Tx 201 y un conjunto de antena Rx montados sobre un microscopio óptico convencional 700, para los fines de examinar, por ejemplo, muestras biológicas montadas sobre portaobjetos de microscopio 702. El conjunto Rx 202 va montado en una cavidad del microscopio que normalmente estaría ocupada por una lente ocular (pieza ocular). El extremo del conjunto Rx puede configurarse adecuadamente para ajustar esta cavidad existente. El conjunto Tx 201 en este ejemplo va montado en una cavidad o similar que normalmente recibiría una fuente de luz para iluminar el portaobjetos 702. Si el microscopio es de tipo binocular, entonces la otra lente ocular puede utilizarse para la observación visual del portaobjetos y para el enfoque del microscopio. La señal transmitida desde el conjunto Tx 201 sigue la trayectoria óptica normal a través del microscopio hasta el conjunto Rx 202. Es decir, los conjuntos Tx y Rx 201, 202 son dispuestos para la transiluminación del portaobjetos 702. De manera alternativa, los conjuntos Tx y Rx podrían ir montados uno al lado del otro en las cavidades oculares del microscopio binocular, para una operación en modo de reflexión. De esta manera, pueden adaptarse para operar como "microscopios de tipo radar" una diversidad de diferentes tipos de microscopios ópticos y pueden utilizarse para la obtención de imágenes y/o para la catalogación de muestras biológicas o similares en una diversidad de aplicaciones que incluyen la diagnosis médica. Para fines de escaneo, el portaobjetos 702 puede trasladarse con respecto a los conjuntos Tx y Rx utilizando una plataforma portaobjetos móvil convencional del microscopio.

Para aplicaciones de cartografiado de precisión de la invención, es necesario emplear conjuntos de antena calibrados, preferentemente del tipo ilustrado en las Figs. 5E a 5N, cuya separación relativa puede variar para una triangulación optimizada de la distancia de alcance. Preferentemente, las antenas de transmisión Tx y recepción Rx, pueden rotar alrededor de sus ejes longitudinales en un ángulo de entre 0° y 360° uno respecto al otro para permitir una polarización variable de las señales, para optimizar reflexiones de imágenes coherentes de objetivos e interfaces de interés.

El factor de triangulación es importante para muchas aplicaciones de la invención. El factor de polarización tiene mayor importancia en la inspección de corto alcance de estructuras como, por ejemplo, tuberías o secciones de cemento. Cambiar la polarización, en un factor de 90°, por ejemplo, puede permitir la recogida de conjuntos de datos de imágenes multivariantes a lo largo de cada línea de escaneo. Esto muchas veces ayuda en la clasificación del medio y proporciona coordenadas de puntos objetivo o estructuras en el medio que está siendo objeto de investigación.

Las antenas por lo general pueden orientarse de dos maneras: mediante polarización plana (PP o Modo Plano) o mediante polarización cruzada (CP, modo 90°), donde Tx está orientado a 90° con respecto a Rx o viceversa. Por lo tanto, a cualquier frecuencia dada, pueden recogerse dos conjuntos diferentes de datos de reflexión espectral (o bandas de imágenes digitales). El diseño de filtros de frecuencia espaciales adecuados y el uso del análisis de componentes principales (PCA) para el cartografiado de imágenes multivariantes de tales conjuntos de datos de imágenes complejas multispectrales y multipolarizadas pueden ayudar mucho en la identificación de, por ejemplo, estructuras de ingeniería de interés para la clasificación y el cartografiado de precisión.

También hay que considerar las coordenadas espaciales (X, Y, Z) tanto de la antena de transmisión como de la antena de recepción. Esto significa que el área a investigar debería ser estudiada con precisión para construir una base de datos de estudios geográficos concisa de las coordenadas de cada línea escaneada. En los casos en los que las líneas a escanear sean no lineales, es importante hacer un seguimiento de las antenas en su plataforma de escaneo durante la fase de recogida de datos.

Esta situación puede surgir, por ejemplo, al escanear las características topográficas irregulares de una muestra de biopsia, dado que las antenas irán montadas sobre una plataforma de escaneo de biopsias (BSP) simple y no en contacto directo con la muestra quirúrgica. Con una configuración de antenas fija sobre una BSP, donde el tejido es irregular, el espacio de aire entre la antena y la muestra variará de forma considerable. Por lo tanto, es importante hacer un seguimiento simultáneo de las antenas durante la fase de escaneo de manera que el verdadero plano de referencia del sujeto sea conocido y pueda relacionarse con coordenadas X, Y y Z precisas del sujeto que está siendo objeto de investigación.

Para obtener imágenes coherentes, es importante seleccionar la configuración de escaneo óptima de las antenas. Básicamente, ésta es la distancia de separación fija entre las antenas Tx y Rx montadas sobre la plataforma de escaneo o BSP. Para una obtención de imágenes de estructuras más profundas las antenas deben ser fijadas con una mayor distancia de separación. Nuevamente, para poder enfocar a través de materiales dieléctricos inferiores u órganos más profundos en el cuerpo, las antenas deberían ser colocadas más aparte. Para obtener datos de profundidad precisos es importante triangular cada línea de escaneo, en el dominio de la subsuperficie del cuerpo. Esto puede alcanzarse superponiendo líneas de escaneo desde la posición de inicio de escaneo (SOS) hasta la posición final de escaneo (EOS). Este tipo de escaneo por lo general se denomina escaneo WARR (reflexión y refracción de gran ángulo), como se ilustra en la Fig. 11A que muestra un conjunto de antena Tx fijo 201, y un conjunto de antena Rx móvil 202 que se separa progresivamente de la antena Tx 201 en la dirección de las flechas, con respecto a un sujeto 704, como por ejemplo un tumor cancerígeno en el cuerpo). Esto puede conseguirse mediante la conmutación digital automática de un array de sensores, gestionada por un control software.

Conforme se mueve la plataforma de escaneo a lo largo de la línea de escaneo, el conjunto de antena Rx captura cada nueva reflexión y traza los retornos a lo largo de los anteriores retornos escaneados. Este proceso integra las trazas reflejadas y finalmente se obtiene una imagen completa del sujeto 704. Para componer una imagen coherente, el sistema procesa las señales de reflexión de respuesta de los objetos examinados. Estas son automáticamente mejoradas para optimizar los objetivos deseados y pueden clasificarse las reflexiones de frontera descompuestas por capas.

También las imágenes pueden escalarse de forma adecuada mediante software, con características de remuestreo y zoom automático que permiten la visualización en 2-D y en 3-D de los puntos objetivo y de las interfaces de frontera, en tiempo real. Estas características, junto con el uso de paletas de colores clasificados, pueden distinguir las clases de textura o las rugosidades superficiales (por ejemplo) de una amplia gama de materiales. Un carcinoma de pecho típico puede constar de seis diferentes capas de tejido, midiéndose los grosores de las capas en micrómetros (por ejemplo: 76, 76, 152, 202, 88, 77), cada una con una constante dieléctrica diferente.

Un análisis más profundo de la imagen puede dar como resultado unas tablas dieléctricas que muestran el grosor medio entre capas, profundidades, velocidades de propagación y constantes dieléctricas. Estas tablas también pueden incluir cálculos del error cuadrático medio o error RMS en un tiempo de recorrido de ida y vuelta medido en nanosegundos (NS) y profundidad en metros (m) para cada frontera estratigráfica.

El software de procesamiento de señal preferente realiza una deconvolución en tiempo real del pulso de transmisión para permitir un cartografiado realmente conforme a las formas de los objetos. Por ejemplo, las reflexiones GPR convencionales de estructuras de sección circular o elíptica como, por ejemplo, las tuberías, se producen como ecos parabólicos de las partes superior e inferior de las superficies reflectantes de la tubería, mientras que el cartografiado de la manera anteriormente descrita mostrará las estructuras en sus verdaderas formas circulares o elípticas.

A partir de las imágenes resultantes, los materiales pueden clasificarse e identificarse espectroscópicamente (como se describe más adelante), a condición de que hayan sido catalogados anteriormente y que sus características especiales hayan sido registradas en la base de datos de referencia. Si este es el caso, la clasificación es posible casi en tiempo real; es decir, dentro de unos pocos microsegundos a partir de la captura de los datos. Las profundidades pueden calcularse automáticamente mediante el sistema informático una vez que han sido implementados los resultados de WARR. De esta manera, es simplemente una cuestión de lectura de la profundidad de una posición objetivo requerida de la imagen escalada.

La Fig. 12 es una tabla que resume las especificaciones de sistema para una diversidad de modos de operación de sistemas que implementan la invención. Son indicados quince modos de operación, A1-A5, B1-B5 y C1-C5, que ejemplarizan la amplia gama de aplicaciones de la invención. Los modos A1-A5 son los modos de corto alcance/campo próximo (de pequeña escala) para una gama de distancias incrementales entre la antena Tx y el sujeto, adecuados para aplicaciones como la obtención de imágenes biológicas y médicas. Los modos B1-B5 son los modos de entre corto alcance y medio alcance (de escala media), nuevamente para una gama de distancias incrementales, adecuados para aplicaciones GPR con una penetración relativamente poco profunda. Los modos C1-C5 son los modos de largo alcance (de gran escala), adecuados para aplicaciones geológicas/geofísicas, particularmente en la industria petrolífera, para una penetración del suboceanico/de la subsuperficie relativamente profunda. Los diversos modos por lo general utilizarían básicamente el mismo ordenador, generador de pulsos y dispositivo de control del radar, con diferentes conjuntos de antena Tx y Rx, siendo estos preferentemente de los tipos ilustrados en las Figs. 5A a 5N, utilizándose los conjuntos más pequeños (por ejemplo, de una longitud de entre 200 mm y 300 mm) para los modos A1 a A5, utilizándose los conjuntos de tamaño intermedio para los modos B1 a B5 y utilizándose los conjuntos de tamaño grande (por ejemplo, de hasta 24 m de longitud) para los modos C1 a C5.

ES 2 328 724 T3

El tiempo de resolución y el espacio de resolución (columnas 2 y 3) indican la resolución que puede obtenerse utilizando cada modo. Los valores proporcionados son para agua salada y pueden convertirse para otros medios con diferentes propiedades dieléctricas. La columna 4 indica valores adecuados de Frecuencia de Repetición de Pulsos (PRF) para cada modo, siendo mayores para las aplicaciones de corto alcance y menores para las aplicaciones de más largo alcance. La columna 4 indica valores adecuados del Ancho de Pulso (Pw) para los diversos modos, siendo estos más cortos para los modos de corto alcance y más largos para los modos de largo alcance. Para cada uno de los modos A1-A5, los valores adecuados se encuentran en el intervalo de entre 10 ps (picosegundos) y 100 ps, es decir de entre 0,001 ns (nanosegundos) y 0,1 ns; para cada uno de los modos B1-B5 los valores adecuados se encuentran en el intervalo de entre 1 ns y 10 ns; para cada uno de los modos C1-C5 los valores adecuados se encuentran en el intervalo de entre 10 ns y 25 ns. La tabla de la Fig. 12 utiliza unos valores de Pw de 0,1 ns para los modos A1-A5, de 1 ns para los modos B1-B5 y de 10 ns para los modos C1-C5. La columna 6 indica el Intervalo de Tiempo (TR) en la señal recibida producido por cada pulso transmitido que contendrá los datos de interés a la distancia y escala relevantes. El Intervalo de Tiempo normalmente empezaría con el primer pico de la señal recibida. El Intervalo de Tiempo es menor para aplicaciones de corto alcance/pequeña escala y mayor para aplicaciones de largo alcance/gran escala.

Las columnas 6 y 7 indican los intervalos de frecuencia preferentes (Fmin a Fmax) del pulso transmitido para cada modo, siendo mayor para aplicaciones de corto alcance/pequeña escala que requieren poca penetración y alta resolución y menor para aplicaciones de largo alcance/gran escala que requieren una profunda penetración y una menor resolución. El intervalo de frecuencias se determina mediante el sistema de radar en su conjunto, incluyendo las características de las antenas Tx y Rx. Las columnas 9 a 11 indican valores adecuados de pulsos por traza (Ptr), frecuencia de escaneo (SR, trazas por segundo) y retardoS (1/SR) para los fines de muestreo, almacenamiento y monitorización de datos digitalizados).

El intervalo total de frecuencias de los sistemas de radar es de entre 1 MHz y 1 GHz, lo que cubre un intervalo de frecuencias extraordinariamente amplio. Este intervalo es adecuado para las diversas operaciones de obtención de imágenes y catalogación del dispositivo a diversas distancias y escalas. Para cada uno de los quince modos, la frecuencia de muestreo (Fs) lo más preferentemente es igual a dos veces la frecuencia máxima (Fmax) como se indica en la columna 7 de la Fig. 12B. La frecuencia de muestreo se determina por la diferencia en retardos de tiempo de pulso a pulso. Para todos los modos de operación, la frecuencia de muestreo preferentemente se encuentra en el intervalo de entre $F_{max}/4$ y $4F_{max}$. El periodo de muestreo, Ts (columna 12), es diferente de la frecuencia de muestreo, siendo el tiempo durante el cual la señal analógica es muestreada antes de ser digitalizada, correspondiente al tiempo representado por un píxel en la dirección y. Preferentemente, de media, el periodo de muestreo Ts es $1/(2F_{max})$. Debería ser por lo menos $1/F_{max}$ pero para un escaneo de alta velocidad se recomienda que sea $1/(4F_{max})$ lo que es igual a 0,25 ns siendo $F_{max} = 1$ GHz.

Es importante que la señal de entrada analógica sea filtrada antes de ser muestreada para evitar el "aliasing" o solapamiento. Esto se lleva a cabo parcialmente mediante el muestreador 516 (Fig. 2) que calcula el promedio de la señal a lo largo del periodo de muestreo. El intervalo inferior de frecuencias viene limitado por las antenas Tx y Rx, la ventana temporal y un componente de baja frecuencia del radar. La frecuencia más baja que puede resolverse es el recíproco del tiempo desde el instante cero hasta el final de la traza. Por ejemplo, considérese el modo A5 de la Fig. 12. En este caso, el intervalo de tiempo de 25 ns (columna 6) tendrá una frecuencia mínima de $(25 \text{ ns})^{-1}$, es decir, 40 MHz. Esto un valor mínimo absoluto. Para fines prácticos, preferentemente se selecciona un valor superior (100 MHz en la Fig. 12).

Los modos A1 a A5 están concebidos para la obtención de imágenes y catalogación de corto alcance o campo próximo como las aplicaciones médicas y biológicas. El intervalo de frecuencias recomendado para estos modos de operación va desde una frecuencia mínima (Fmin) en el intervalo de entre 100 MHz (A5) y 1 GHz (A1) hasta una frecuencia máxima en el intervalo de entre 1 GHz (A5) y 10 GHz (A1). Para estos intervalos de frecuencia, la frecuencia de muestreo (Fs) se determina por la diferencia en retardos de tiempo entre pulsos. Como se ha indicado anteriormente, el criterio para seleccionar Fs es que debería ser por lo menos dos veces Fmax para la mayoría de las aplicaciones, o preferentemente cuatro veces Fmax para algunas aplicaciones específicas como, por ejemplo, el escaneo de alta velocidad. El intervalo total preferente para todos los modos va de $F_{max}/4$ a $4 F_{max}$.

La Frecuencia de Repetición de Pulsos (PRF) es la frecuencia a la que son emitidos los pulsos desde un transmisor. Para las aplicaciones médicas y biológicas de corto alcance (obtención de imágenes de campo próximo enfocado), la PRF debería ser por lo menos de 64 kHz para aplicaciones combinadas de obtención de imágenes y catalogación, aunque el valor máximo preferentes es de 100 kHz.

El número de pulsos por traza (Ptr, columna 9, Fig. 12B) es importante para una operación eficaz del dispositivo. El Ptr máximo preferente para los modos A1-A5, para cubrir una amplia gama de aplicaciones bioquímicas, biológicas y médicas de diagnóstico, es de 100 pulsos por traza. La ventana temporal máxima, TR, es una función de Ptr y Ts, como sigue: $TR = (Ptr \times Ts)$. Por consiguiente, en el modo de operación A3: $Ts = 1/2F_{max}$; es decir, $Ts = 10^{-10} = 0,1$ ns; $TR = (100 \times 0,1) \text{ ns} = 10 \text{ ns}$.

Hay un compromiso entre los parámetros para la obtención óptima de imágenes y el rendimiento de la catalogación. Mayores valores de Fmax siempre dan mejores resultados en términos de resolución, etc. pero a expensas de la penetración, el procesamiento de datos, etc.

Los modos B1-B5 se refieren a aplicaciones de georadares (GPR) generales de entre corto alcance y medio alcance (obtención de imágenes de la subsuperficie enfocada). Para estos modos, el valor preferente de PRF es también de 100 kHz. El intervalo óptimo de P_{tr} para cubrir esta gama de aplicaciones es de entre 4.000 y 9.600 pulsos por traza.

Los modos C1-C5 se refieren a aplicaciones de entre medio alcance y largo alcance (campo lejano). Para muchas aplicaciones geológicas de campo lejano, el intervalo de tiempo más apropiado sería del orden de entre 20.000 ns y 80.000 ns. Para aplicaciones geológicas profundas (es decir, profundidades de tipo sísmico de poca profundidad a sísmico de gran profundidad de hasta miles de metros), pueden seleccionarse intervalos de tiempo del orden de entre 160.000 ns y 250.000 ns.

La acumulación de pulsos (S_t) es un procedimiento común de mejora de los productos cuyas imágenes han sido obtenidas en la obtención de imágenes sísmicas o geofísicas convencionales. Esta técnica puede aplicarse en el presente sistema en el momento de la recogida de datos (a través de control digital) o puede llevarse a cabo externamente mediante el post procesamiento de las imágenes de radas recogidas. En este último caso, preferentemente se incrementa la frecuencia de recogida de datos.

La frecuencia de escaneo (SR) es igual al número de trazas (o escaneos) por segundo. El valor máximo de SR es igual a PRF dividido por el producto de P_{tr} y S_t . Por ejemplo (modo A1), cuando P_{tr} es 40, PRF es 100 kHz y S_t es 1 (sin acumulación), entonces $SR = (100 \times 10^3)/(40 \times 1) = 2.500$ escaneos por segundo.

Con relación a la configuración del sistema de radar para su uso operacional, la posición del instante cero (T_0) es de particular importancia. Por lo general para una aplicación particular se seleccionará un T_0 adecuado, para asegurar que todos los datos de señal recibidos relevantes son capturados. En términos generales T_0 es el instante en el que se recibe el pulso transmitido por la ruta de transmisión más corta entre el transmisor y el receptor (la "onda directa", por ejemplo, transmitida a través del aire en un medio de aire o a través del agua en un medio de agua). La posición de T_0 requerida no es en realidad el punto cero de la escala temporal debido a que el pulso ha viajado desde la unidad transmisora a la unidad receptora, de manera que la posición de T_0 en realidad se corresponde con la distancia entre la antena transmisora y la antena receptora dividido por la velocidad del pulso. Este factor es importante para obtener unas medidas de profundidad precisas a través de los materiales, especialmente aquellos que tienen constantes dieléctricas y velocidades entre capas multivariantes. Es importante que la posición de T_0 esté incluida en el intervalo de la ventana temporal (TR, columna 6, Fig. 12) o en la imagen mostrada en el monitor del ordenador. El pulso recibido por onda directa puede utilizarse para deconvolucionar la imagen. Esto por lo general producirá una imagen más clara; es decir, los objetos como las tuberías de sección circular aparecerán como reflexiones circulares en vez de parabólicas en las partes superior e inferior de la tubería.

La posición de T_0 en la imagen depende de los diversos retardos en el sistema de radar y preferentemente se configura cuando se enciende el radar por primera vez, antes de alterar cualquier otra configuración.

La discusión anteriormente indicada, referente a la Fig. 12 de los dibujos, se refiere particularmente a los modos de operación de transiluminación y reflexión.

Para configurar las condiciones adecuadas para catalogar materiales en un modo de operación de cámara (como se ilustra en la Fig. 6A), puede utilizarse la siguiente técnica cuando se utiliza un conjunto de radar GPR convencional (o equivalente) como generador de pulsos. Para proporcionar un control óptimo durante el procedimiento de configuración, el mejor procedimiento encontrado por el inventor es apagar el Control Automático de Ganancias y el Control de Ganancias Variable en el Tiempo del generador de pulsos 21 (Fig. 1). A continuación se establece un ancho de banda de la señal recibida razonable mediante la adecuada selección de las frecuencias de corte de un filtro pasa alta y un filtro pasa baja; por ejemplo, entre 40 Hz y 3,2 kHz.

Se selecciona una ventana temporal lo suficientemente grande para que el muestreo pueda permitir que se produzca un número suficiente de reflexiones de sonidos resonantes a través de la sustancia/del objeto escaneado para permitir el establecimiento de relaciones espectrales significativas para cada sustancia muestreada. El inventor ha descubierto que cuando se colocó una muestra de 25 ml en la parte 4a de la cámara (Fig. 6A), y se dejaron 20 ml de aire en la parte 4b de la cámara de muestras, una ventana temporal adecuada era de aproximadamente 16 ns. Aumentar la ventana temporal mínima a, por ejemplo, 25 ns, permite aún más establecer y probar suficientes efectos resonantes. El intervalo de muestreo, o frecuencia de escaneo, se selecciona para permitir un tiempo de permanencia del pulso suficiente para permitir optimizar la resonancia a través de la sustancia muestreada. En este ejemplo, el muestreo fue optimizado con un intervalo de muestreo de 100 ms (10 escaneos por segundo) para asegurar la obtención de resultados consistentes tras ensayos repetidos. En general, como límite inferior, el intervalo de muestreo no debería ser menor que 50 ms; es decir, la frecuencia de escaneo no debería exceder los 20 escaneos por segundo. Sin embargo, para determinadas aplicaciones de escaneo de alta velocidad, es posible escanear a una frecuencia de 200 escaneos por segundo y también es posible llevar a cabo la catalogación a esta velocidad.

Los datos obtenidos utilizando el dispositivo, sistemas y procedimientos que se han descrito hasta el momento pueden utilizarse para una diversidad de fines, incluyendo la obtención de imágenes, el cartografiado, la medición dimensional, y la catalogación (identificación de materiales, etc.).

Los datos del dominio temporal según se reciben en el receptor pueden procesarse para fines de obtención de imágenes/cartografiado/mediciones utilizando técnicas bien conocidas utilizadas en las aplicaciones convencionales de GPR y en otras aplicaciones de obtención de imágenes/cartografiado, que no serán descritas en la presente memoria.

Los datos del dominio temporal pueden transformarse en datos del dominio de frecuencia, por medio de técnicas basadas en la Transformada de Fourier (especialmente la FFT). Ésta proporciona un espectro de energía/frecuencia que, de acuerdo con un aspecto de la invención, puede utilizarse como firma única para identificar (catalogar) el material que produjo el espectro. De acuerdo con este aspecto de la invención, el espectro de energía/frecuencia se analiza utilizando cualquiera de entre una diversidad de procedimientos de análisis estadísticos conocidos (como el análisis de componentes principales, la clasificación por máxima verosimilitud o la clasificación multivariante) o combinaciones de tales procedimientos, para obtener un conjunto de parámetros. Se establece una base de datos de referencia de materiales conocidos, que comprende los datos de dominio temporal originales, y/o los datos transformados, y/o el conjunto de parámetros obtenido de los mismos, y un material desconocido puede posteriormente identificarse comparando su conjunto de parámetros, también obtenido por medio del dispositivo, sistemas y procedimientos de la presente invención, con los de la base de datos de referencia. El análisis estadístico del espectro de energía/frecuencia puede llevarse a cabo bien sea mediante una clasificación de la frecuencia (utilizando intervalos de energía) o mediante una clasificación de energía (utilizando intervalos de frecuencia).

Los procedimientos analíticos convencionales también pueden aplicarse a los datos para fines de clasificación, como por ejemplo, las técnicas de reflectometría en el dominio temporal, análisis de la distribución de la velocidad o similares, como se utilizan en las aplicaciones geofísicas convencionales para la determinación de las propiedades dieléctricas.

La parte que forma el ordenador del sistema de radar de acuerdo con la invención puede programarse para llevar a cabo estas funciones.

Mediante el uso de esta invención, es posible clasificar y cartografiar reservas de petróleo, agua y gas en grandes profundidades bajo tierra sin la necesidad de tener que realizar una perforación. Observando a grandes profundidades bajo tierra, es posible monitorizar movimientos de petróleo, agua y gas y clasificar petróleos ya catalogados y que se encuentran en bases de datos de referencia de tipos de petróleo, etc.

Otras aplicaciones incluyen la detección de explosivos, sustancias de contrabando, y en particular narcóticos, así como la catalogación de roca, suelo, sedimentos y núcleos de hielo, y la diagnosis y obtención de imágenes biológicas/médicas.

Se cree que los conjuntos de antena preferentes de la presente invención (Figs. 5A a 5N) operan de manera análoga a un láser, excepto en que las ondas de radio resuenan en un medio altamente dieléctrico y con un medio dieléctrico cuidadosamente seleccionado y con una abertura de la lente dieléctrica cuidadosamente seleccionada con hendiduras circulares concéntricas de enfoque. Con una abertura de 3 mm, es posible enfocar el haz desde 3 mm fuera de la abertura central hasta el infinito, como una cámara estenopeica.

Una imagen de ejemplo obtenida por medio de la invención se muestra en la Fig. 11. La imagen representa un escaneo de un núcleo cilíndrico corto de oro en un filón de cuarcita indicado en A. La anchura de este trozo corto escaneado es de 280 mm y el diámetro del núcleo de oro es de aproximadamente 40 mm.

La dimensión vertical refleja el dominio temporal y la escala horizontal ha sido rectificada para representar la longitud del núcleo escaneado mediante el par de antenas móviles. La parte superior de la imagen es 0 ns. Retardos temporales adicionales representan señales reflejadas desde una mayor profundidad dentro del núcleo de muestra. Mirando más adentro se registran unas reflexiones del núcleo de aproximadamente 4,5 ns. Se disponen dos reflexiones armónicas adicionales que proporcionan información de la rugosidad superficial del núcleo y que surgen por la utilización de una potencia inicial demasiado elevada para generar el pulso del radar. La primera reflexión se encuentra en el intervalo temporal de entre aproximadamente 7 ns y aproximadamente 13 ns y la segunda reflexión superficial múltiple muestra un trozo ampliado del núcleo de entre 17 ns y 25 ns, seleccionándose el límite de la ventana temporal de 25 ns.

La selección de aberturas de hendiduras circulares adecuadas 224, 225 y de huecos con forma de anillo 226 y la elección del relleno dieléctrico 228 que lanza la onda permite percibir la estructura interna del núcleo. Si la longitud del ánodo es proporcional a la longitud de tubo como se ha descrito anteriormente, por ejemplo, $1/\alpha$ o en este caso $1/10$ de la longitud interna total del tubo telescópico 227, entonces el retardo temporal del haz del radar (es decir, el tiempo entre la emisión y la detección) se multiplica por el α recíproco de la fracción $1/\alpha$; es decir, el retardo temporal real $T_D = \alpha \times$ el tiempo de retardo esperado T_E , donde T_E es según indican las formulas de georadar (GPR) convencionales. Utilizando las formulas de alcance de GPR convencionales, este núcleo de cuarcita de 40 mm con una constante dieléctrica media de ($\epsilon_R=5$) tendría que haber producido una longitud de intervalo de tiempo equivalente sobre la imagen de 0,54 ns, pero el factor 10:1 extendió el intervalo de tiempo debido a que el haz fue frenado en el telescopio y esto resultó en una extensión de imagen en intervalo de tiempo de 5,4 ns. El inventor considera que esto se debe a un efecto de la geometría del tubo y de la lente dieléctrica, y ayudará en el enfoque de corto alcance de las cámaras de ondas radio y de los microscopios así como de los telescopios de ondas radio para el cartografiado de grandes profundidades subterráneas o subyacentes al lecho marino.

La descripción anteriormente indicada se refiere a formas de realización particulares de la invención. En general, los valores o rangos de valores indicados para diversos parámetros pueden todos ellos variar y pueden depender de la aplicación particular de la invención.

Además, si las propiedades dieléctricas del material de revestimiento que rodea la antena de los telescopios varían bajo unas condiciones dadas, por ejemplo, si la constante dieléctrica depende de las condiciones térmicas, como es el caso del titanato de bario, entonces es posible detectar tales condiciones utilizando la invención para “observar” la sustancia y monitorizar el cambio en los datos espectrales recibidos. Esto podría permitir determinar las condiciones de las estructuras/sustancias/objetos subterráneos. Otros dieléctricos de interés incluyen el titanato de zirconato de plomo (PZT) y el fosfato dihidrógeno de amonio.

Para disipar dudas, siempre que se ha hecho referencia específica a una “sustancia”, “muestra” o similar, el término puede incluir otros objetos, líquidos y polvos así como características geológicas, biológicas o marinas de mayor o menor escala, etc. El término “sujeto” como se utiliza en la presente memoria hace referencia a cualquier sustancia, muestra, objeto característica, etc. cuya imagen desea ser obtenida, detectada o analizada por medio de la invención.

Debe entenderse que para determinadas aplicaciones de la invención, las antenas de transmisión y las antenas de recepción, los arrays de antenas o los conjuntos de antena pueden combinarse en arrays o conjuntos transceptores.

Referencias citadas en la descripción

Esta lista de referencias citadas por el solicitante es solamente para conveniencia del lector. La misma no forma parte del documento de patente europea. A pesar de que se ha tenido mucho cuidado durante la recopilación de las referencias, no deben excluirse errores u omisiones y a este respecto la OEP se exime de toda responsabilidad.

Documentos de patente citados en la descripción

- EP 1210587 A

REIVINDICACIONES

1. Conjunto de antena tipo radar para su uso como transmisor, receptor o transceptor que comprende:

Una carcasa tubular (227) con una superficie interior reflectante en el radar y que presenta un primer extremo, un segundo extremo y un eje longitudinal;

Una abertura dispuesta en dicho segundo extremo;

Por lo menos un elemento de antena alargado (230) que se extiende prácticamente en paralelo a dicho eje longitudinal desde dicho reflector (232) hacia dicho segundo extremo que presenta un diámetro DA y una longitud LA; y

Un material dieléctrico (228) que básicamente hace de relleno del volumen interior de dicha carcasa tubular.

Caracterizado porque

Un reflector reflectante en el radar (232) cierra dicho primer extremo de dicha carcasa tubular (227);

Dicha carcasa tubular (227) presenta un diámetro interior DR que es un múltiplo entero del diámetro DA de dicho por lo menos un elemento de antena (230); y/o

Dicha carcasa tubular (227) tiene una longitud interior LT que es un múltiplo entero de la longitud LA de dicho por lo menos un elemento de antena (230).

2. Conjunto de antena tipo radar según la reivindicación 1, que incluye adicionalmente unos medios de enfoque (204) en dicho segundo extremo.

3. Conjunto de antena tipo radar según la reivindicación 2, en el que dichos medios de enfoque (204) incluyen una pluralidad de aberturas en forma de hendiduras con forma de anillo concéntricas (224, 225) situadas en dicho segundo extremo.

4. Conjunto de antena tipo radar según la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el que dichos medios de enfoque incluyen por lo menos un elemento de lente dieléctrica (238; 239, 240) situado en dicho segundo extremo.

5. Conjunto de antena tipo radar según la reivindicación 4, en el que dicho elemento de lente dieléctrica comprende un elemento de lente plano (238).

6. Conjunto de antena tipo radar según la reivindicación 4, en el que dicho elemento de lente dieléctrica comprende un elemento de lente plano-cóncavo (239).

7. Conjunto de antena tipo radar según la reivindicación 4, en el que dicho elemento de lente dieléctrica comprende un elemento de lente plano-convexo (240).

8. Conjunto de antena tipo radar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una superficie interior de dicha carcasa tubular (227) comprende un cátodo de antena y dicho elemento de antena alargado (230) comprende un ánodo de antena.

9. Conjunto de antena tipo radar según la reivindicación 8, en el que dicho elemento de antena alargado (230) se extiende a lo largo de dicho eje longitudinal.

10. Conjunto de antena tipo radar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que incluye por lo menos dos de dichos elementos de antena alargados (602, 604), de los cuales por lo menos uno comprende un cátodo de antena y de los cuales por lo menos uno comprende un ánodo de antena.

11. Conjunto de antena tipo radar según la reivindicación 10, en el que dichos elementos de antena alargados (602, 604) están dispuestos simétricamente alrededor del eje longitudinal de la carcasa tubular (606).

12. Conjunto de antena tipo radar según la reivindicación 11, en el que dichos elementos de antena alargados (602, 604) tienen prácticamente la misma longitud y el mismo diámetro.

13. Conjunto de antena tipo radar según la reivindicación 12, en el que el diámetro interior DT de la carcasa tubular (606) es un múltiplo entero del diámetro DA de dichos elementos de antena alargados (602, 604) y del espacio entre los pares adyacentes de dichos elementos de antena alargados (602, 604).

14. Conjunto de antena tipo radar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material dieléctrico (228) es un líquido.

ES 2 328 724 T3

15. Conjunto de antena tipo radar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material dieléctrico (228) es un sólido.

5 16. Conjunto de antena tipo radar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material dieléctrico (228) es un sólido en polvo compactado en el interior de dicha carcasa tubular (227, 606).

17. Sistema de radar que comprende unos medios de generación de señales de pulsos (21, 512), unos medios transmisores de antena (2, 550), unos medios receptores de antena (3, 552), unos medios de control (25, 500) para controlar la operación de dichos medios de generación de señales de pulsos (21, 512), unos medios convertidores analógico-digital (22, 517) para digitalizar las señales recibidas por dichos medios receptores de antena (3, 552), y
10 unos medios de almacenamiento de datos (24, 506) para el almacenamiento de dichas señales digitalizadas, en el que dichos medios transmisores de antena (2, 550) y dichos medios receptores de antena (3, 552) comprenden por lo menos un conjunto de antena de tipo radar según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16.

15 18. Sistema de radar según la reivindicación 17, en el que dichos medios transmisores de antena (2, 550) comprenden por lo menos un conjunto transmisor de antena de tipo radar según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, y dichos medios receptores de antena (3, 552) comprenden por lo menos un conjunto receptor de antena de tipo radar según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16.

20 19. Sistema de radar según la reivindicación 18, en el que dichos conjuntos transmisor y receptor de antena (2, 3; 201, 202) están dispuestos para transiluminar un sujeto.

20. Sistema de radar según la reivindicación 18 ó 19, en el que dichos conjuntos transmisor y receptor de antena (2, 3; 201, 202) están dispuestos para estar coaxialmente alineados en lados opuestos de un sujeto.

25 21. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 20, en el que dichos conjuntos transmisor y receptor de antena (2, 3) están conectados a una cámara de muestras cerrada adaptada para encerrar un sujeto.

30 22. Sistema de radar según la reivindicación 18, en el que dichos conjuntos transmisor y receptor de antena (201, 202) están dispuestos de manera que dicho conjunto receptor recibe una señal transmitida por dicho conjunto transmisor de antena y reflejada desde un sujeto.

35 23. Sistema de radar según la reivindicación 22, en el que dichos conjuntos transmisor y receptor de antena (201, 202) están dispuestos de manera que sus ejes longitudinales son prácticamente paralelos entre sí con sus segundos extremos mirando en la misma dirección.

24. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 23, en el que dicho sistema está adaptado para ser portátil.

40 25. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 24, en el que dicho sistema está adaptado para ser transportado por un vehículo terrestre.

26. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 24, en el que dicho sistema está adaptado para ser transportado por una embarcación de agua de superficie.

45 27. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 24, en el que dicho sistema está adaptado para ser transportado por un vehículo sumergible.

50 28. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 24, en el que dicho sistema está adaptado para ser transportado por un vehículo aéreo.

29. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 24, en el que dicho sistema está adaptado para ser transportado por un vehículo espacial.

55 30. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 29, en el que la posición de dicho conjunto transmisor de antena (201) es fija respecto a dicho conjunto receptor de antena (202).

60 31. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 30, en el que por lo menos uno de entre dicho conjunto transmisor de antena (201) y dicho conjunto receptor de antena (202) está adaptado para poder moverse con respecto a un sujeto.

32. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 29, en el que uno de entre dichos conjuntos transmisor y receptor de antena (201, 202) está adaptado para poder moverse respecto al otro.

65 33. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 32, que incluye adicionalmente unos medios de procesamiento de datos (23, 506) para el procesamiento de dichas señales digitalizadas.

34. Sistema de radar según la reivindicación 33, en el que dichos medios de procesamiento de señal (23, 506) están adaptados para procesar dichas señales digitalizadas para por lo menos uno de los fines de entre la obtención de imágenes, medición, cartografiado, detección, identificación y catalogación de dicho sujeto.

35. Sistema de radar según la reivindicación 34, en el que el sistema de radar está adaptado para:

Irradiar el sujeto con una señal de frecuencia de radar de banda ancha en forma de pulsos transmitida por lo menos por una antena transmisora;

Detectar una señal de retorno que sigue a la interacción de dicha señal transmitida con dicho sujeto, utilizando por lo menos una antena receptora;

Calcular un espectro de energía-frecuencia de dicha señal de retorno; y

Analizar dicho espectro de energía-frecuencia para obtener una firma característica de tipo energía-frecuencia de dicho sujeto.

36. Sistema de radar según la reivindicación 35, en el que dicha etapa de análisis de dicho espectro de energía-frecuencia comprende la realización de un análisis estadístico de dicho espectro de energía-frecuencia.

37. Sistema de radar según la reivindicación 36, en el que dicho análisis estadístico incluye por lo menos uno de entre el análisis de componentes principales, la clasificación por máxima verosimilitud y la clasificación multivariante.

38. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 35 a 37, en el que dicha etapa de análisis de dicho espectro de energía-frecuencia comprende una clasificación de frecuencia que utiliza intervalos de energía.

39. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 35 a 37, en el que dicha etapa de análisis de dicho espectro de energía-frecuencia comprende una clasificación de energía que utiliza intervalos de frecuencia.

40. Sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 35 a 39, en el que el sistema de radar está adaptado para:

Obtener una firma de tipo energía-frecuencia de dicho sujeto;

Comparar dicha firma de tipo energía-frecuencia del sujeto con una base de datos de firmas de tipo energía-frecuencia de sujetos conocidos anteriormente obtenidas.

41. Procedimiento de catalogación de un sujeto que utiliza un sistema de radar según cualquiera de las reivindicaciones 35 a 40 que comprende las etapas de:

Irradiar el sujeto con una señal de frecuencia de radar de banda ancha en forma de pulsos transmitida por lo menos por una antena transmisora de dicho sistema de radar;

Detectar una señal de retorno que sigue a la interacción de dicha señal transmitida con dicho sujeto, utilizando por lo menos una antena receptora de dicho sistema de radar;

Calcular un espectro de energía-frecuencia de dicha señal de retorno; y

Analizar dicho espectro de energía-frecuencia para obtener una firma característica de tipo energía-frecuencia de dicho sujeto.

42. Procedimiento de identificación de un sujeto desconocido que comprende las etapas de:

Obtener una firma de tipo energía-frecuencia de dicho sujeto utilizando el procedimiento de la reivindicación 41; y

Comparar dicha firma de tipo energía-frecuencia del sujeto desconocido con una base de datos de firmas de tipo energía-frecuencia de sujetos conocidos anteriormente obtenidas utilizando el procedimiento de la reivindicación 41.

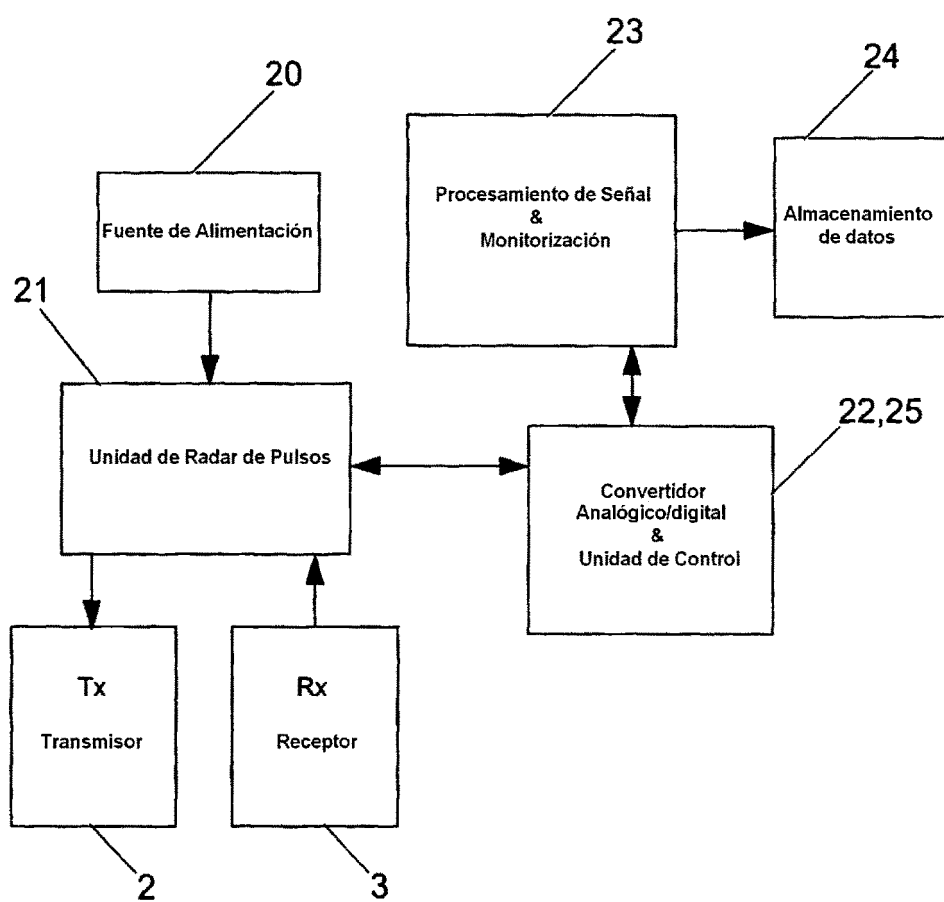


Fig. 1

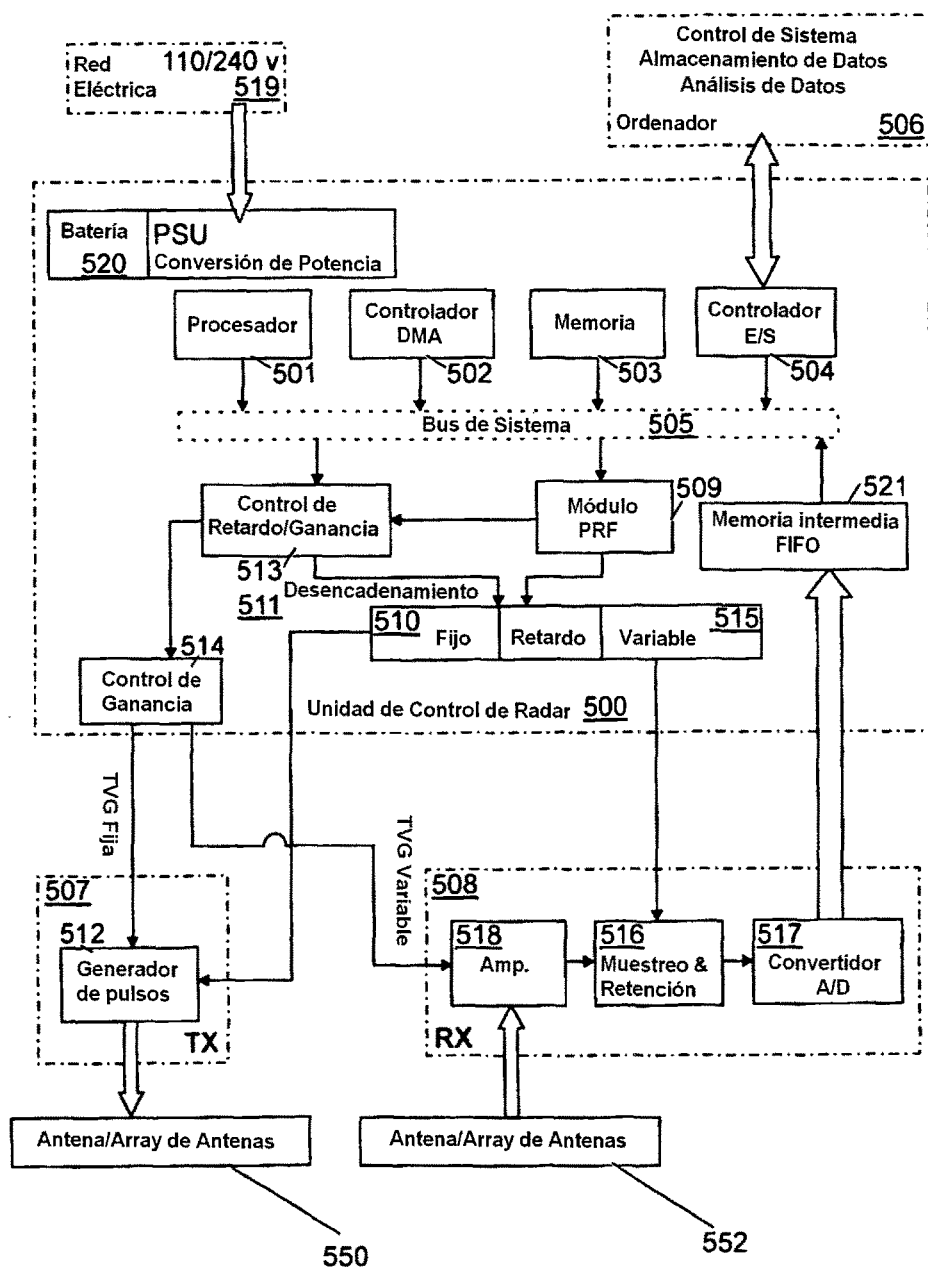


Fig. 2

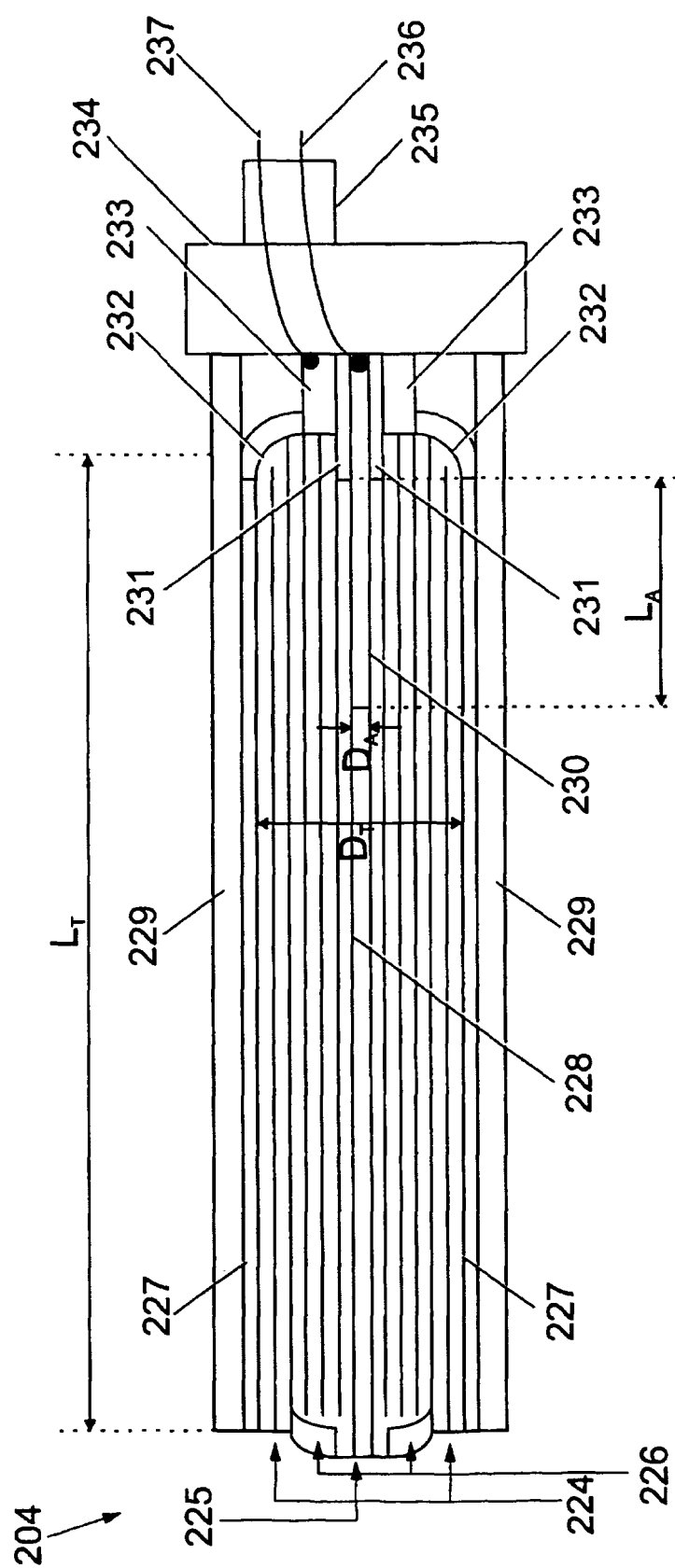


Fig. 5A

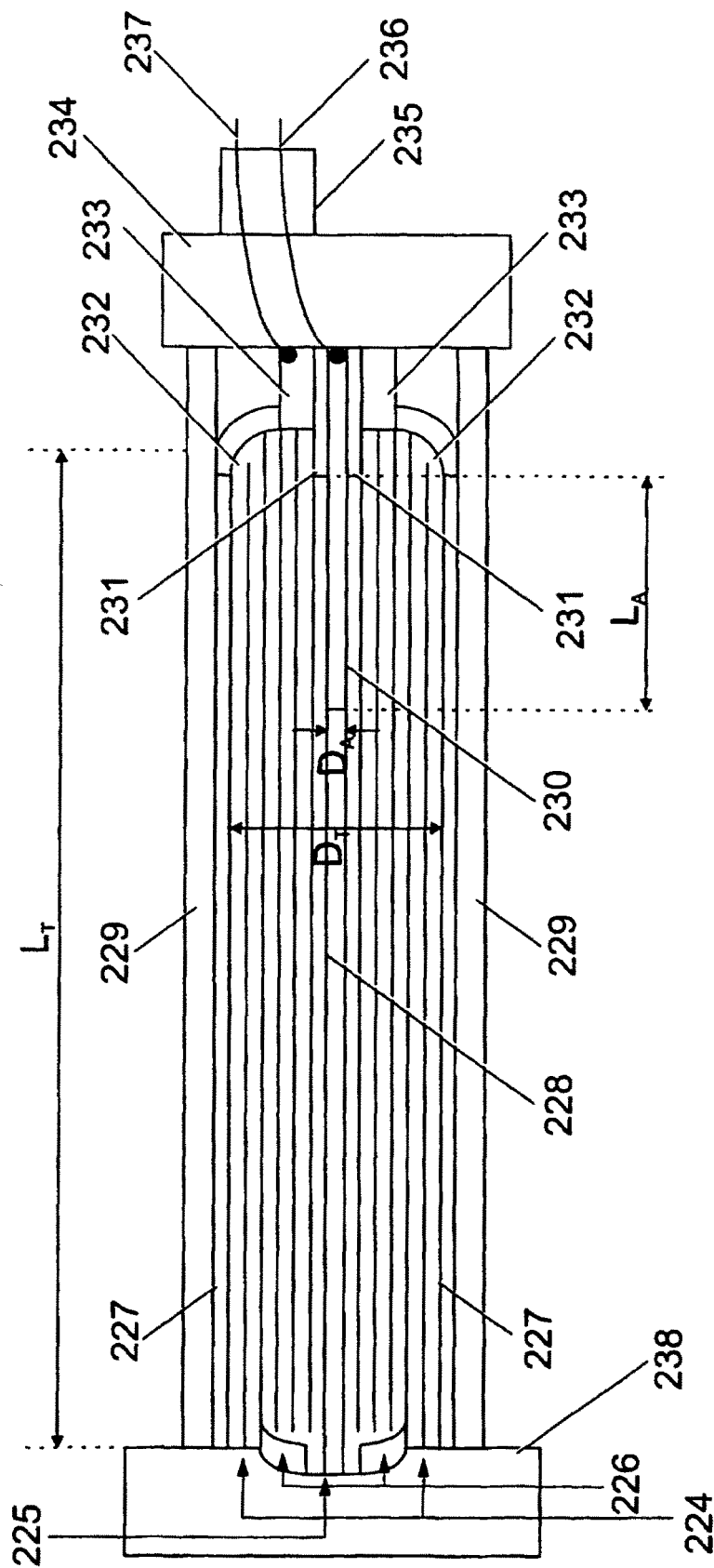


Fig. 5B

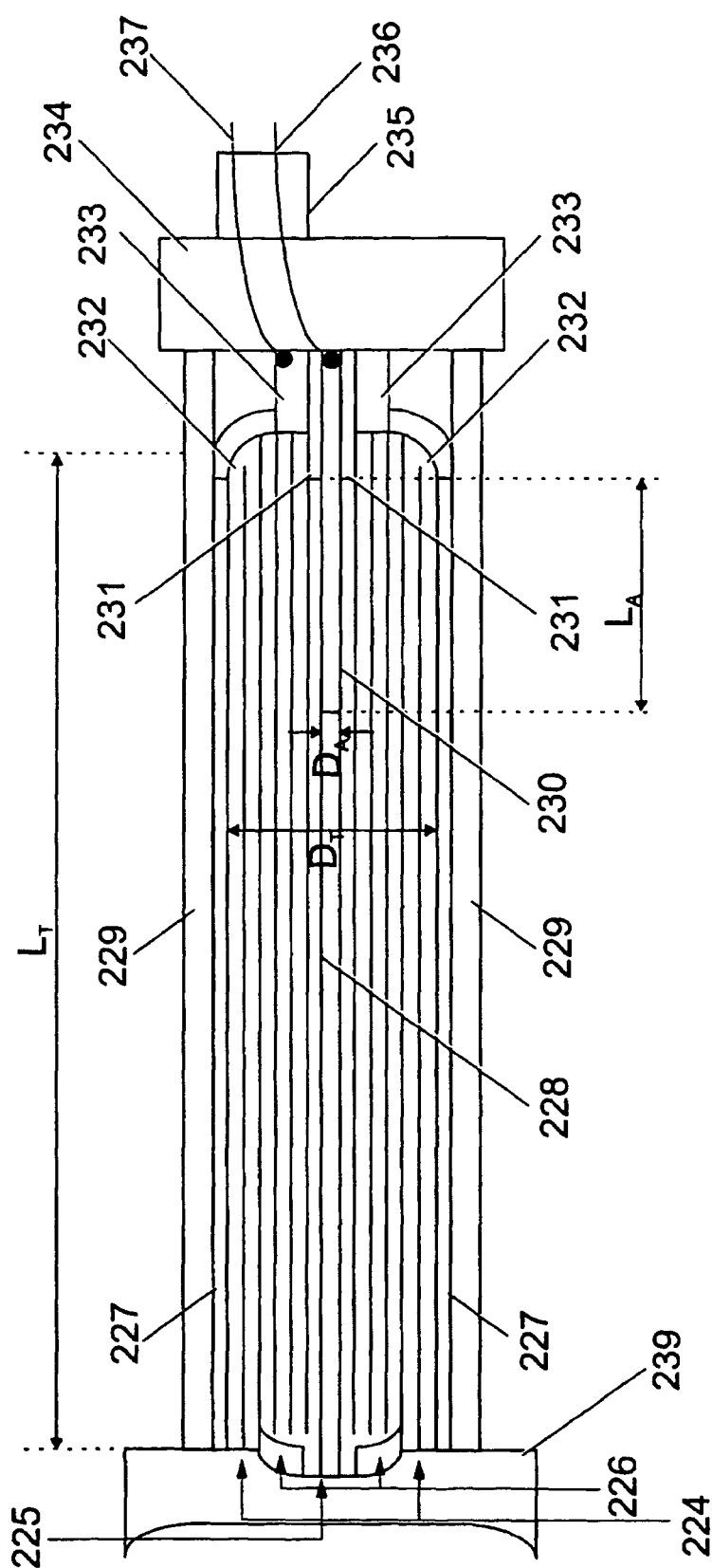


Fig. 5C

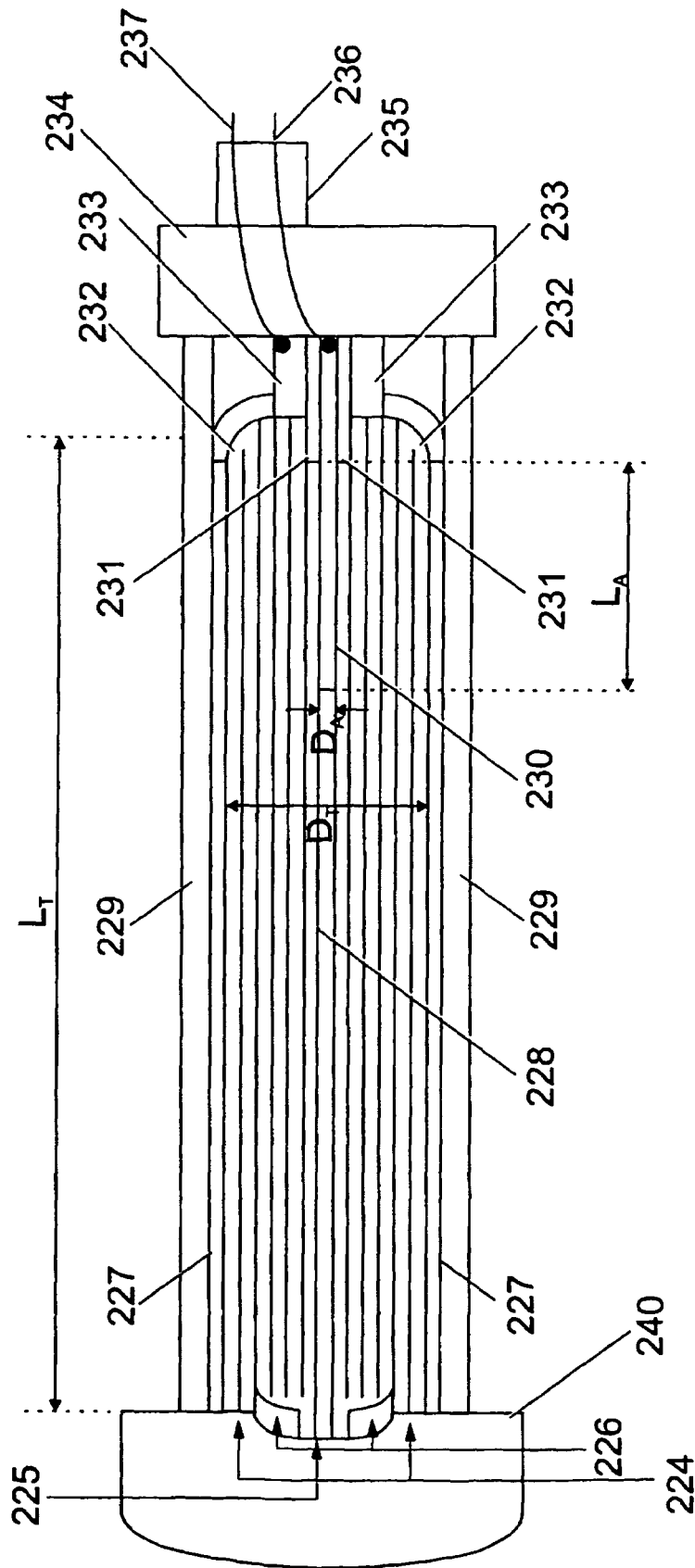


Fig. 5D

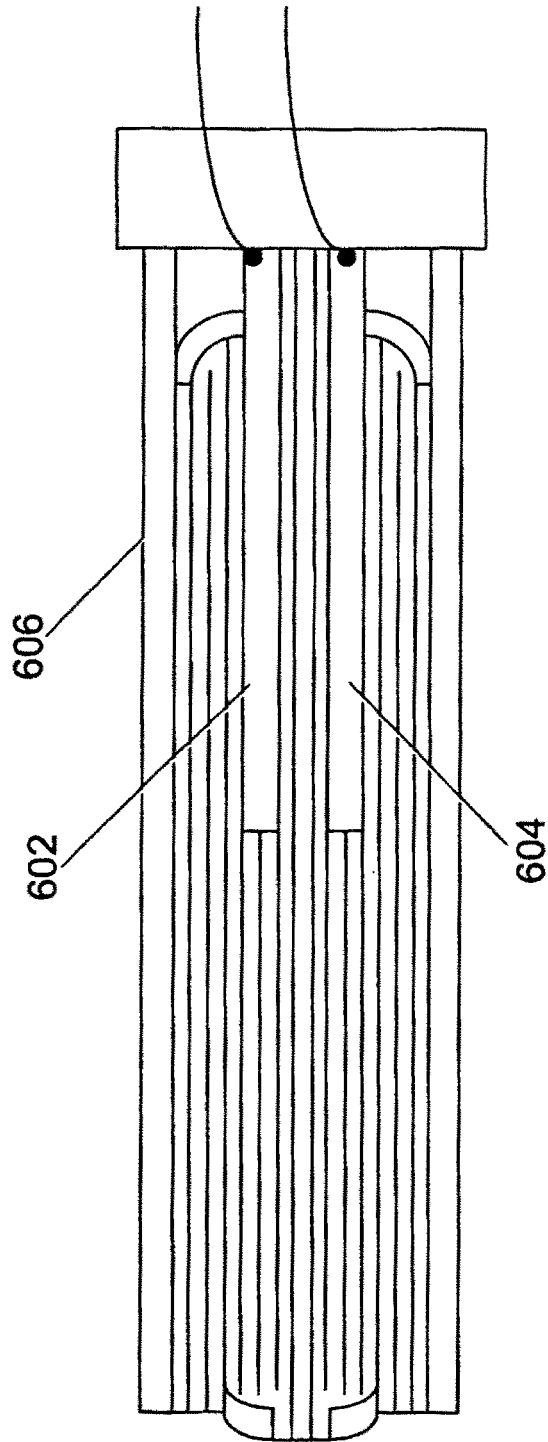
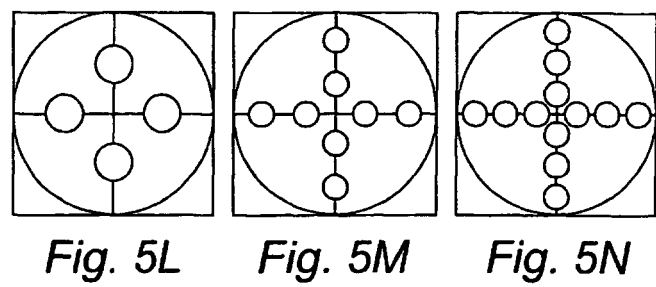
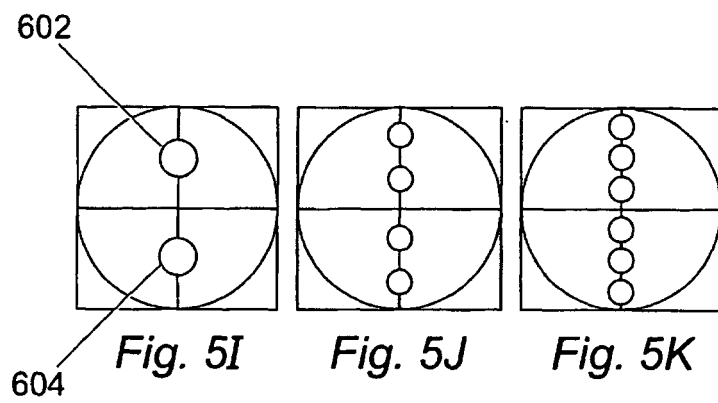
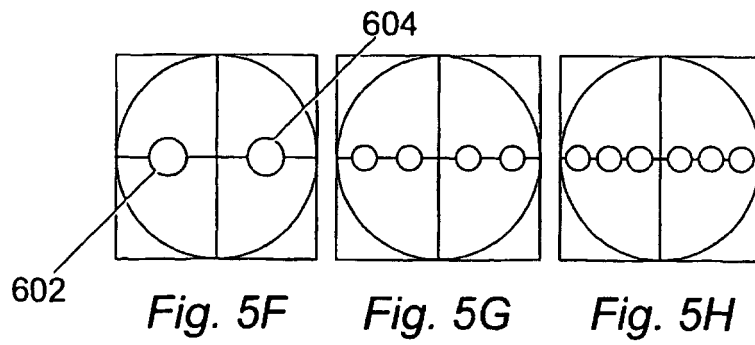


Fig. 5E



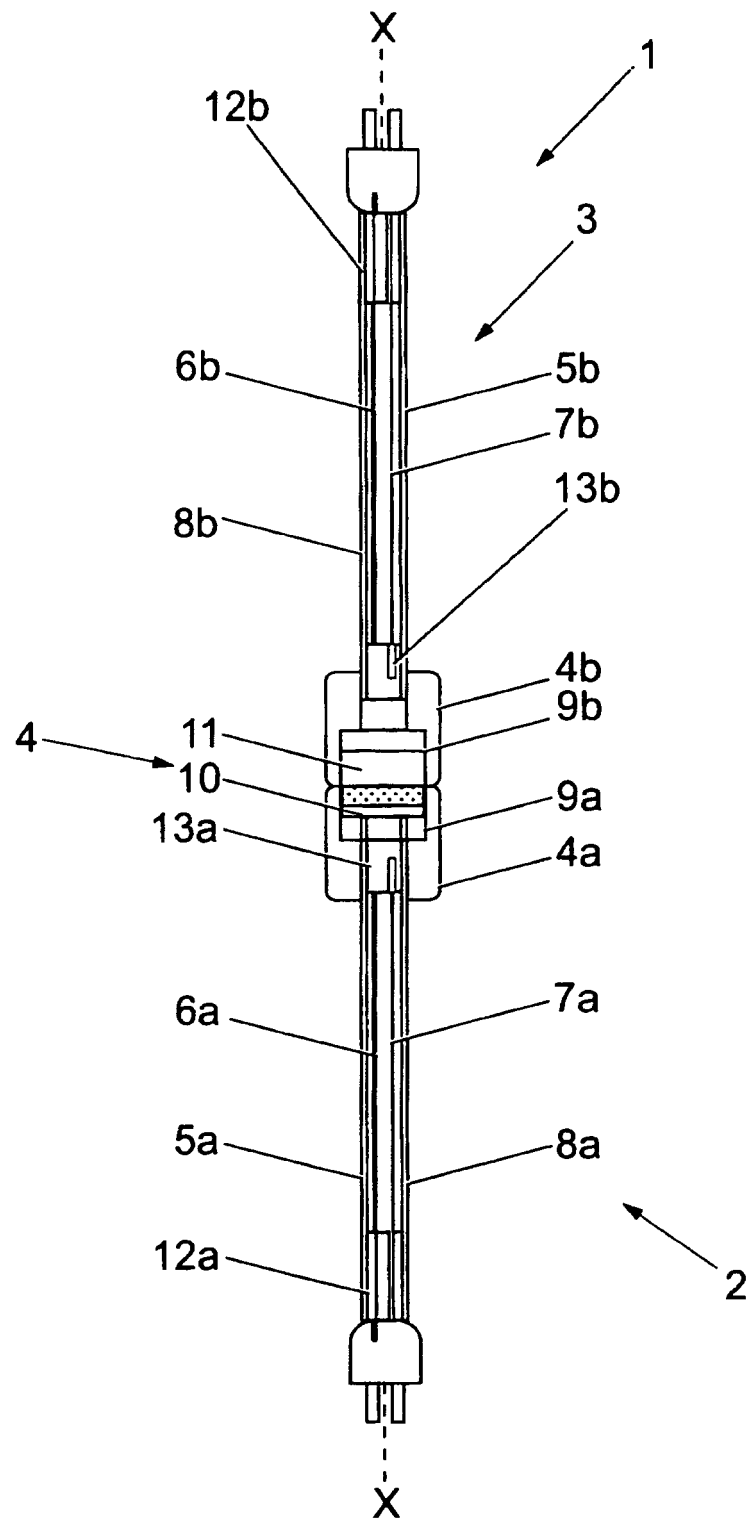


Fig. 6A

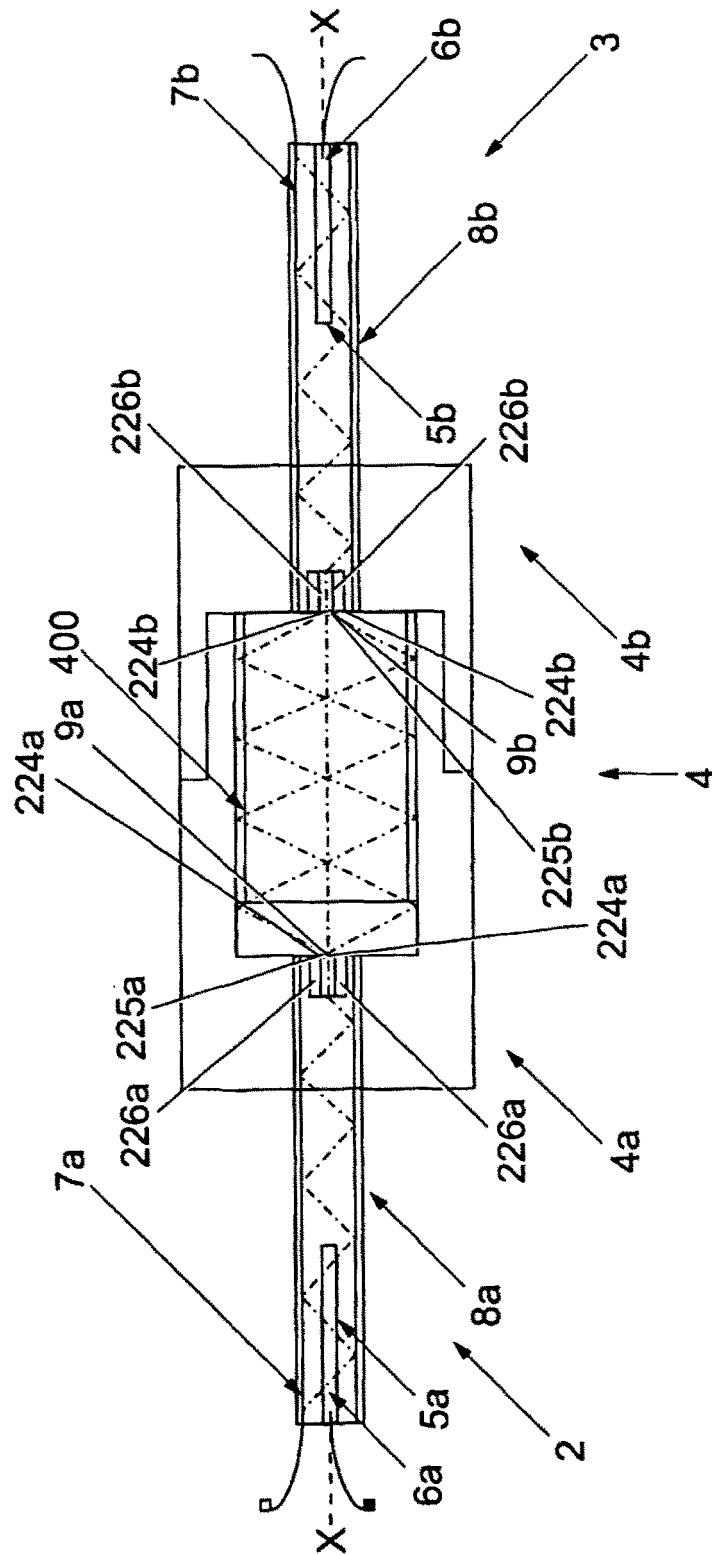


Fig. 6B

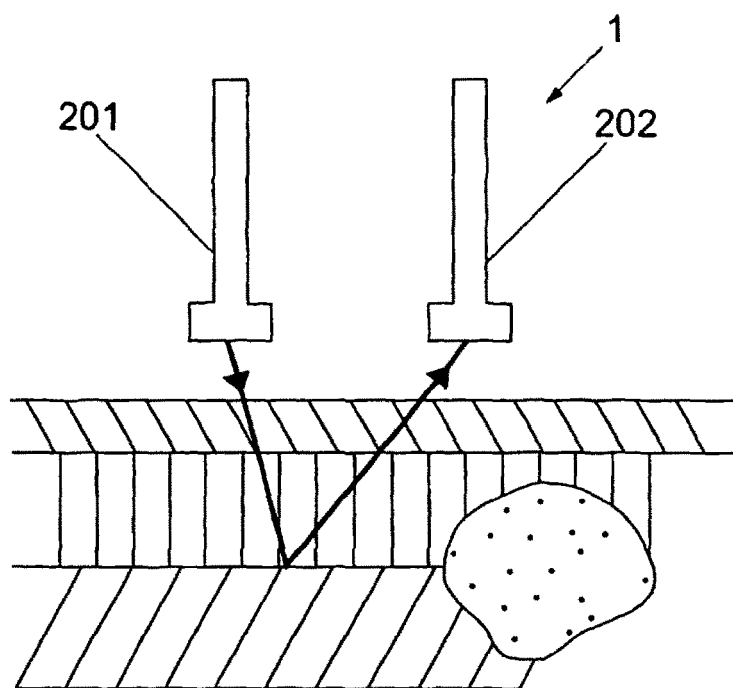


Fig. 7A

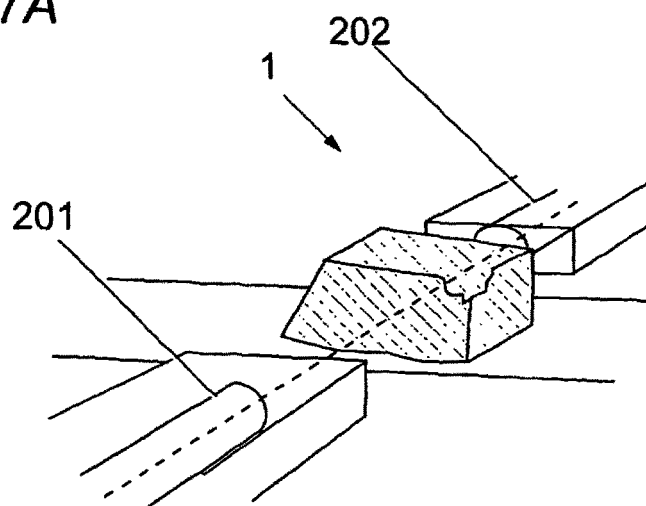
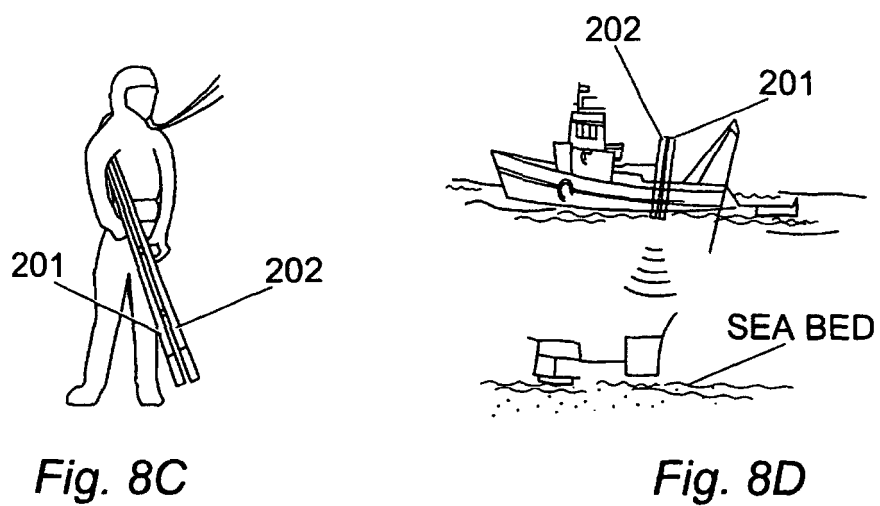
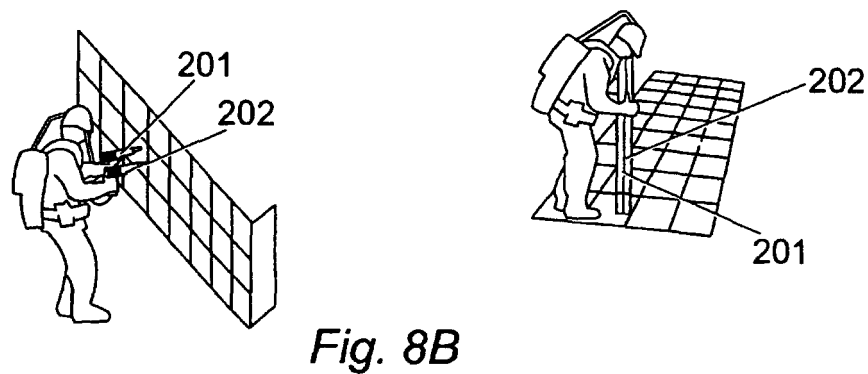
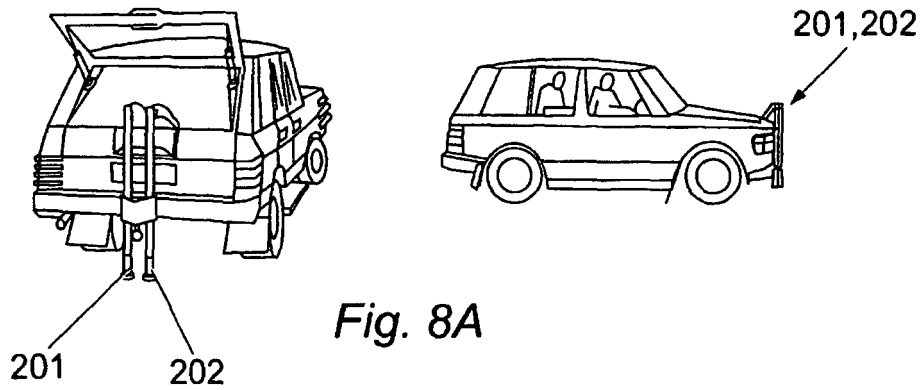


Fig. 7B



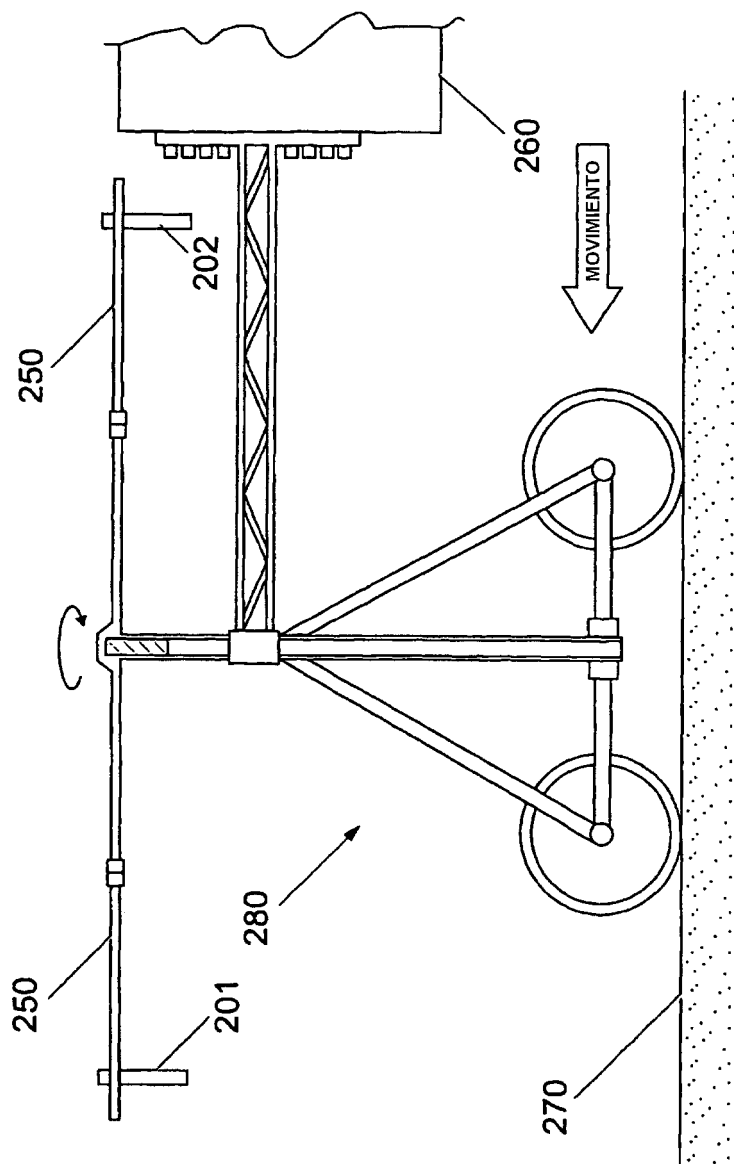


Fig. 9

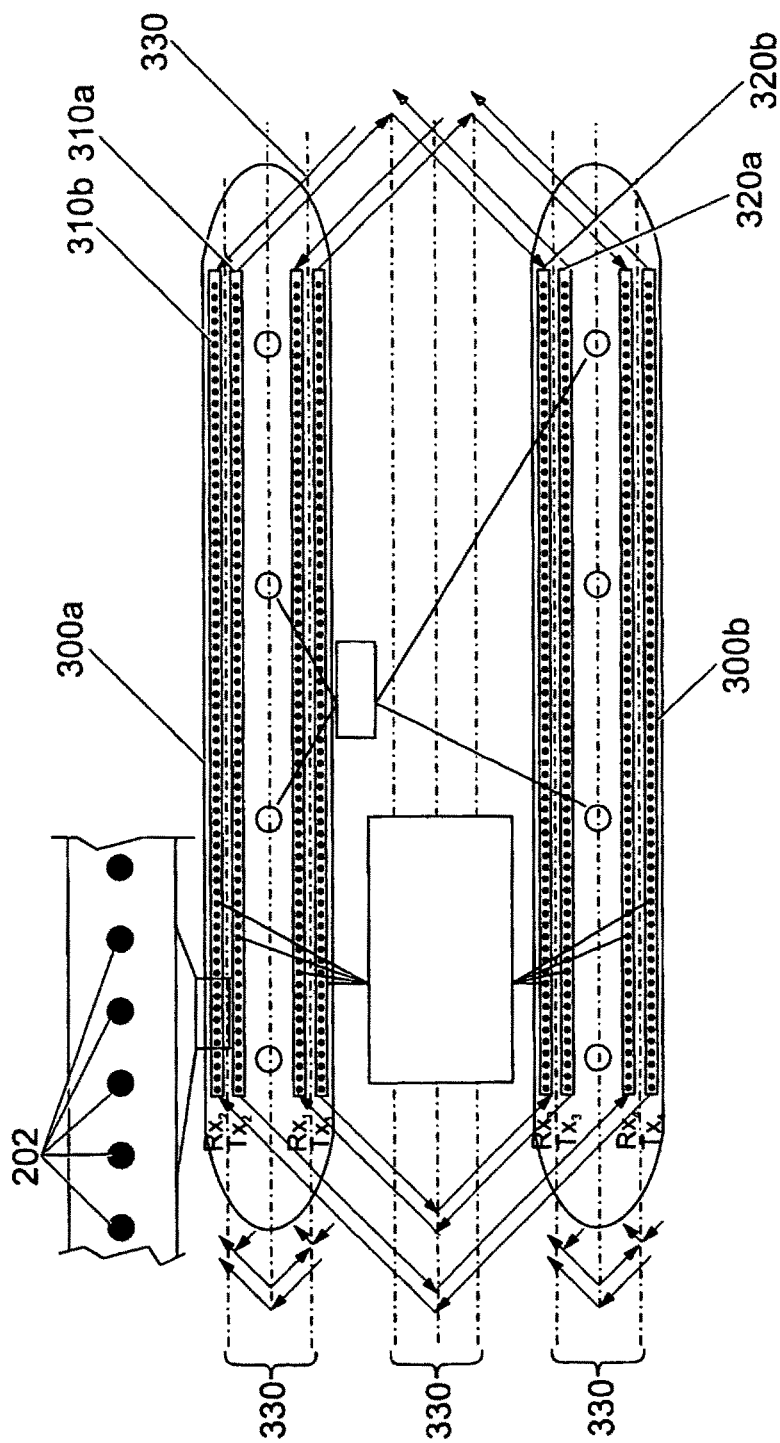


Fig. 10

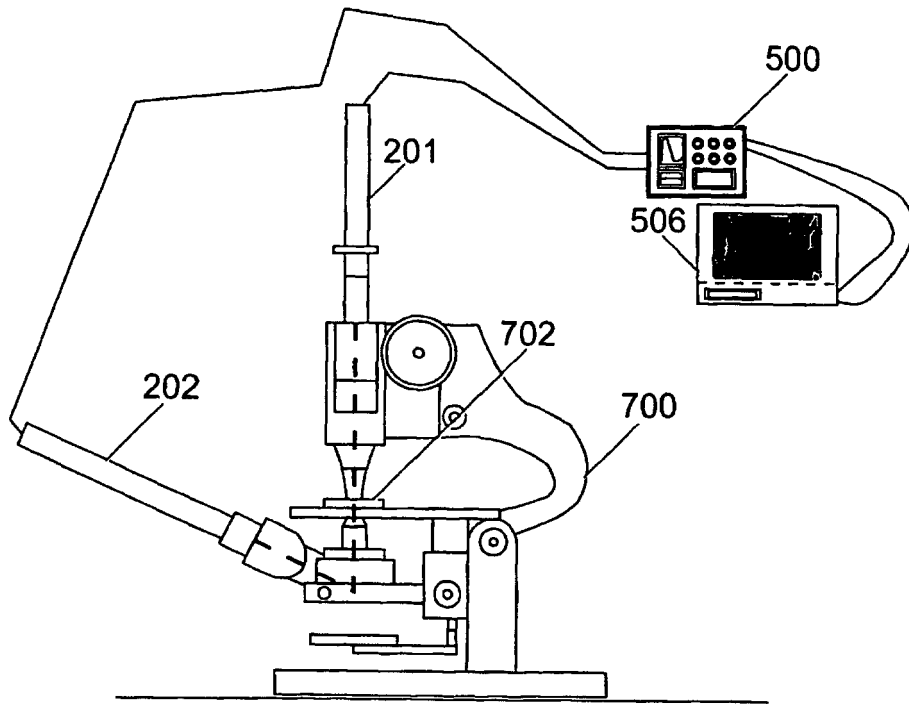


Fig. 11A

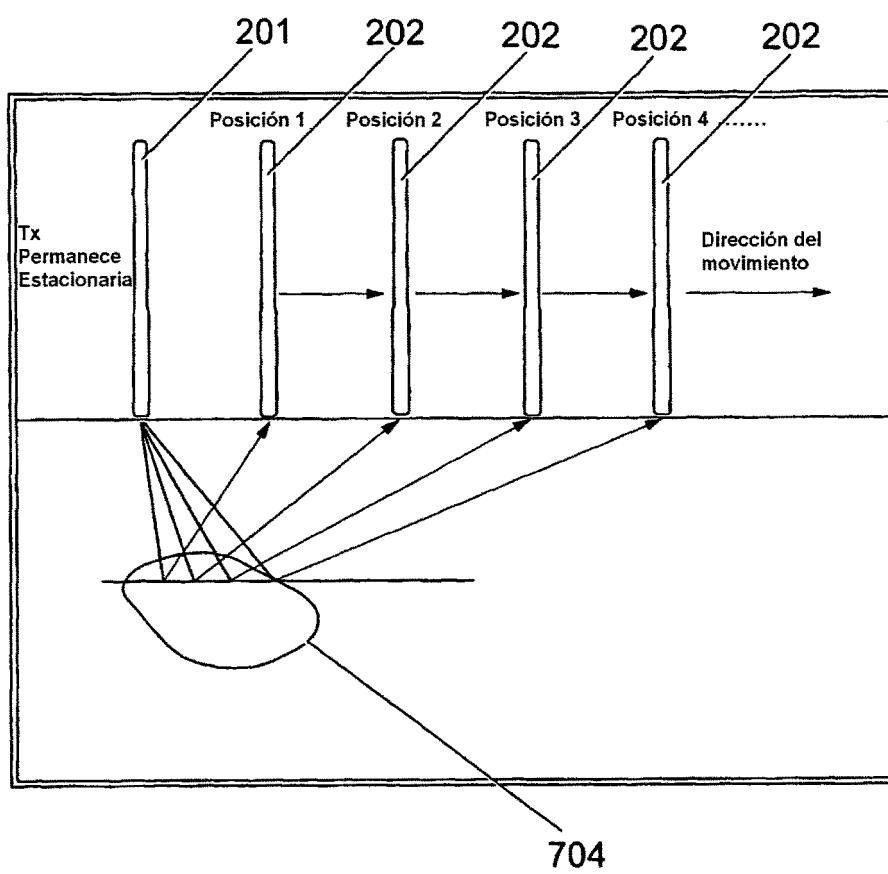


Fig. 11B

MODO	Tiempo de Resolución (ps)	Espacio de Resolución (m) (en agua salada)	PRF (kHz)	Pw (ns)	TR (ns)	Fmax (MHz)	Fmin (MHz)	Ptr	Frecuencia de escaneo (trazas/s)	1/SR Retardos	TS (ns)
A1	50	0.00167	100	0.1	2	10000	1000	40	2500	0.0004	0.05
A2	50	0.00167	100	0.1	5	10000	1000	100	1000	0.001	0.05
A3	100	0.00167	100	0.1	10	5000	500	100	1000	0.001	0.1
A4	250	0.00167	100	0.1	15	2000	200	60	1667	0.0006	0.25
A5	500	0.00167	100	0.1	25	1000	100	50	2000	0.0005	0.5
B1	250	0.01667	100	1	2000	2000	125	8000	12.5	0.08	0.25
B2	500	0.01667	100	1	4000	1000	62.5	8000	12.5	0.08	0.5
B3	625	0.01667	100	1	6000	800	50	9600	10.4	0.096	0.625
B4	1250	0.01667	50	1	8000	400	25	6400	7.8125	0.128	1.25
B5	2500	0.01667	25	1	10000	200	12.5	4000	6.25	0.16	2.5
C1	2500	0.16667	50	10	20000	200	12.5	8000	0.625	1.6	2.5
C2	5000	0.16667	25	10	40000	100	6.25	8000	0.3125	3.2	5
C3	10000	0.16667	12.5	10	80000	50	2.25	8000	0.15625	6.4	10
C4	40000	0.16667	6.25	10	160000	12.5	1	4000	0.15625	6.4	40
C5	62500	0.16667	3.125	10	250000	12.5	1	4000	0.078125	12.8	40

Frecuencia de Muestreo = $F_s = 2 \cdot F_{max}$

Intervalo para todos los tipos genéricos = $1/4 \cdot F_{max} - 4 \cdot F_{max}$

Ptr = Intervalo de Tiempo (TR)/Periodo de Muestreo (ts)

Periodo de Muestreo = $T_s = 1/2 \cdot F_{max}$, tiempo ocupado por un pixel en la dirección y bajando por la traza

Ptr = número de pixels por traza

PRF = Frecuencia de Repetición de Pulsos

Pw = Ancho de Pulso

TR = Intervalo de Tiempo

Fmax = Frecuencia Máxima

Fmin = Frecuencia Mínima

Tiempo de Resolución = tiempo entre pixels bajando por la traza

SR = Frecuencia de Muestreo

Fig. 12

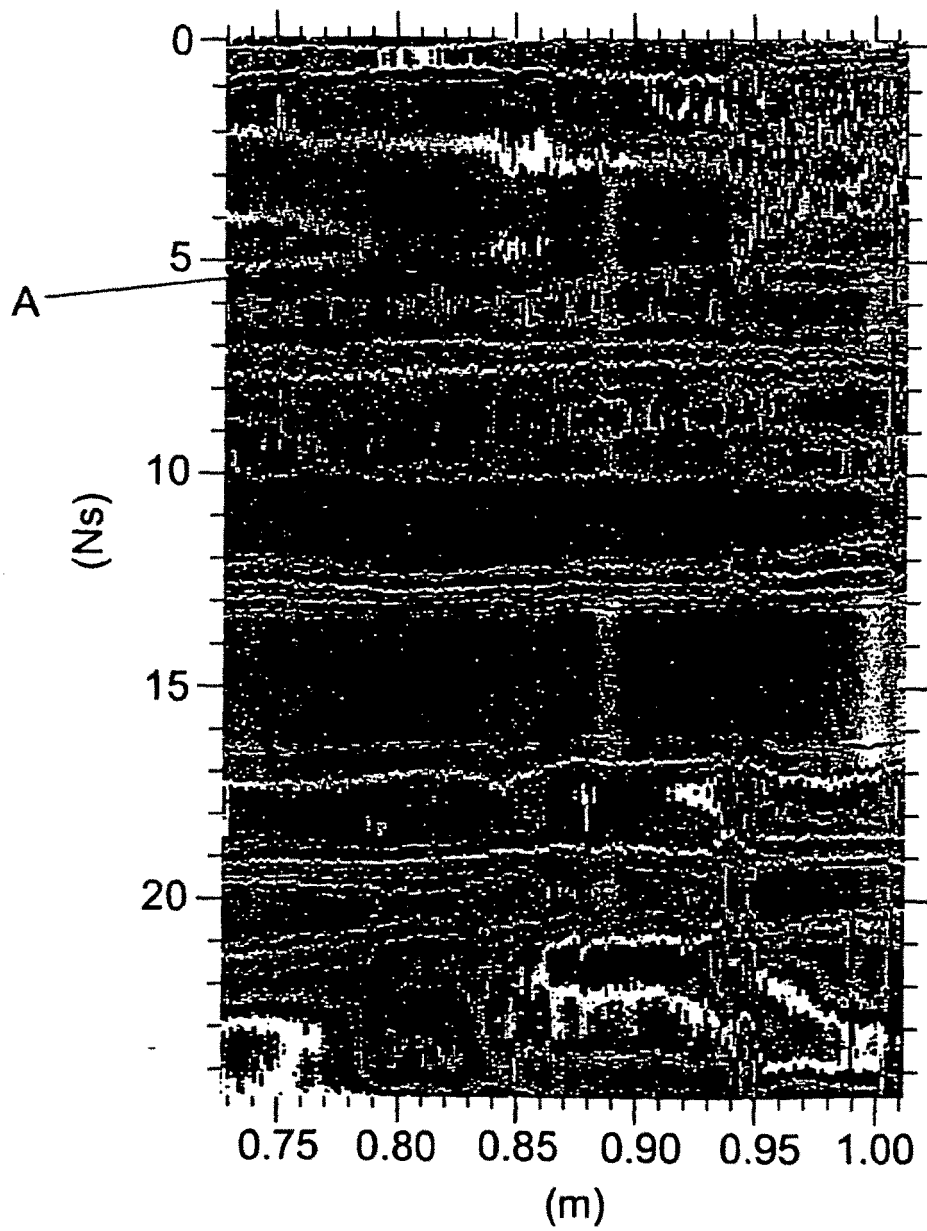


Fig. 13