

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 970 576**

51 Int. Cl.:

G01H 9/00 (2006.01)

G01V 8/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.07.2018 PCT/AU2018/050757**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.01.2019 WO19014721**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.07.2018 E 18835142 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.11.2023 EP 3655735**

54 Título: **Método y sistema para detección acústica distribuida en un entorno marino**

30 Prioridad:

18.07.2017 AU 2017902820

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
29.05.2024

73 Titular/es:

**FIBER SENSE LIMITED (100.0%)
1a/1110 Middle Head Road
Mosman NSW 2088, AU**

72 Inventor/es:

ENGLUND, MARK ANDREW

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 970 576 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

Método y sistema para detección acústica distribuida en un entorno marino

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere, en general, a un método y a un sistema de detección acústica distribuida en un entorno marino. Véanse los documentos WO 2017/102873, WO 2018/045433 y WO 2018/085893 como técnica anterior relacionada.

Antecedentes de la invención

10 Los entornos marinos que requieren ISR (inteligencia, vigilancia y reconocimiento) a menudo cubren áreas extensas, lo que hace que la monitorización efectiva de estas áreas resulte logísticamente difícil y costosa. Los métodos de ISR existentes para estas áreas incluyen en general monitorización por satélites, unidades de sonar montadas en la parte inferior de una embarcación marina o un conjunto de sonar remolcado por detrás de una embarcación marina.

15 La detección acústica distribuida por fibra óptica puede detectar eventos acústicos en regiones circundantes a lo largo de una fibra óptica, por lo que tipos de incidentes diferentes pueden provocar firmas acústicas diferentes en el evento acústico. En un entorno marino, un evento acústico puede venir provocado por incidentes tales como el de una embarcación marina que se desplaza por el área.

20 Algunos métodos de detección acústica distribuida por fibra óptica utilizan un detector hidrofónico que usa una señal óptica para captar las alteraciones acústicas que se producen dentro del entorno marino. El detector hidrofónico las convierte en una señal eléctrica, que se comunica a una estación de registro, antes de ser registrada en una estación de registro. Estos métodos se pueden utilizar, por ejemplo, en sistemas para la monitorización temporal del entorno marino. Los detectores hidrofónicos utilizados en estos métodos de captación habitualmente no tienen acceso a una fuente permanente de energía o a un mecanismo permanente para comunicar la información registrada.

Compendio de la invención

La invención se corresponde con las reivindicaciones adjuntas.

25 En algunas realizaciones, el multiplexor óptico está configurado para multiplexar las señales ópticas sobre el cable de comunicaciones submarino de fibra óptica mediante un acoplador de bucle de retorno del repetidor.

En algunas realizaciones, el multiplexor óptico está configurado para multiplexar en el tiempo y/o multiplexar en frecuencia las señales ópticas con otras señales ópticas transportadas en el cable de comunicaciones submarino de fibra óptica.

30 En algunas realizaciones, el multiplexor óptico incluye un transmisor óptico configurado para generar las señales ópticas basándose en la información sobre la al menos una propiedad óptica afectada.

35 En algunas realizaciones, la al menos una unidad de DAS está alimentada por el repetidor. Según la invención, el al menos un cable sensor de fibra óptica comprende al menos dos cables sensores de fibra óptica y en el que la al menos una unidad de DAS comprende múltiples unidades de DAS separadas entre sí, en el que las unidades de DAS están conectadas mediante un concentrador de distribución que, a su vez, se comunica con el repetidor mediante un cable de alimentación y datos.

En algunas realizaciones, el al menos uno de los cables sensores de fibra óptica está provisto de un revestimiento magnetorrestrictivo para la detección magnética distribuida en el entorno marino que rodea el repetidor.

40 En algunas realizaciones, una combinación de cables sensores acústicos de fibra óptica y magnetorrestrictivos de fibra óptica proporcionan una captación tanto acústica distribuida como magnética distribuida en el mismo entorno marino.

Realizaciones de un método para detección acústica distribuida en un entorno marino que rodea un repetidor a lo largo de un cable de comunicaciones submarino de fibra óptica comprenden:

transmitir luz saliente desde una fuente de luz de al menos una unidad de detección acústica distribuida (DAS) en al menos un cable sensor de fibra óptica ubicado en el entorno marino;

45 recibir luz reflejada de la luz saliente en un receptor de la al menos una unidad de DAS, siendo la luz reflejada luz saliente que ha sido retrodispersada a lo largo del al menos un cable sensor de fibra óptica e incluye al menos una propiedad óptica afectada por una alteración acústica en el entorno marino; y

50 multiplexar, mediante un multiplexor óptico, señales ópticas sobre el cable de comunicaciones submarino de fibra óptica mediante el repetidor, transportando las señales ópticas información sobre la al menos una propiedad óptica afectada.

En algunas realizaciones, la multiplexación de las señales ópticas sobre el cable de comunicaciones submarino de fibra óptica se realiza mediante un acoplador de bucle de retorno del repetidor.

En algunas realizaciones, la multiplexación se produce mediante multiplexación en el tiempo y/o multiplexación en frecuencia, de las señales ópticas, sobre el cable de comunicaciones submarino de fibra óptica.

- 5 En algunas realizaciones, el método comprende además generar, en un transmisor óptico del multiplexor óptico, las señales ópticas basándose en la información sobre la al menos una propiedad óptica afectada.

Resultarán evidentes otros aspectos de la presente invención y otras realizaciones de los aspectos descritos en los párrafos anteriores a partir de la siguiente descripción, ofrecida a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

- 10 La Figura 1 es un diagrama de un sistema para detección acústica distribuida en un entorno marino;
- La Figura 2a es una vista frontal en perspectiva de una unidad de detección acústica distribuida (DAS) utilizada en el sistema de detección acústica distribuida de la Figura 1;
- La Figura 2b es un diagrama de la unidad de DAS mostrada en la Figura 2a;
- La Figura 3a es una vista frontal de un repetidor para ser usado con la unidad de DAS de las Figuras 2a-2b;
- 15 La Figura 3b es un diagrama parcial del repetidor de la Figura 3a conectado a un cable de comunicaciones submarino; y
- La Figura 4 es un diagrama de un módulo acoplador de bucle de retorno del repetidor mostrado en las Figuras 3a-3b; y
- 20 La Figura 5 es una gráfica de densidad de señales eléctricas procesadas de la unidad de DAS de las Figuras 2a-2b.

Descripción detallada de las realizaciones

- Los cables de comunicación submarinos de fibra óptica se tienden en el suelo marino entre estaciones de comunicación terrestres y se utilizan para transmitir datos digitales, tales como datos de telefonía, Internet y privados, a través de entornos marinos espacialmente extensos. Se colocan repetidores (por ejemplo, amplificadores bidireccionales) a intervalos a lo largo del cable de comunicación submarino de fibra óptica y los mismos se utilizan para amplificar la señal óptica que, de otro modo, se atenuaría durante su transmisión a través del entorno marino. Los repetidores se pueden alimentar con conductores eléctricos ubicados en los cables de comunicación submarinos y, típicamente, están conectados a una fuente de energía terrestre.
- 25

- El principio de la detección acústica distribuida por fibra óptica se basa en la incidencia de un evento acústico, procedente de un objeto estacionario o en movimiento, que provoca una alteración localizada correspondiente del índice de refracción de una fibra óptica. Debido al índice de refracción alterado, una señal óptica que se transmite a lo largo de la fibra óptica y a continuación se retrodispersa de manera distribuida (por ejemplo, mediante dispersión de Rayleigh u otros fenómenos de dispersión similares) a todo lo largo de la fibra incluirá fluctuaciones (por ejemplo, en intensidad y/o fase) a lo largo del tiempo. La magnitud de las fluctuaciones está relacionada con la gravedad o proximidad del evento acústico. La temporización de las fluctuaciones a lo largo de la escala de tiempo de la retrodispersión distribuida está relacionada con la ubicación del evento acústico.
- 30
- 35

- La presente divulgación incluye un método y un sistema para detección acústica distribuida, que utilizan en parte un repetidor ubicado a lo largo de un cable de comunicaciones submarino de fibra óptica. Utilizando los métodos y sistemas dados a conocer, sobre el cable de comunicaciones submarino de fibra óptica, a través del repetidor, se comunica información relacionada con un evento acústico detectado. La información puede multiplexarse con otras señales transportadas por el cable de comunicaciones submarino de fibra óptica, por ejemplo usando multiplexación por división de longitud de onda y/o multiplexación por división de tiempo.
- 40

- El sistema y el método dados a conocer pueden usarse con cables de comunicación submarinos de fibra óptica desplegados a tal efecto, dedicados a la detección acústica distribuida o, si están disponibles, cables de comunicación submarinos de fibra óptica existentes, donde una o más de las fibras ópticas se reservan para la detección acústica distribuida.
- 45

- En la Figura 1 se muestra un sistema 100 de ejemplo para detección acústica distribuida en un entorno marino que rodea un repetidor 102, en una ubicación a lo largo de un cable 104 de comunicaciones submarino de fibra óptica. En general, el sistema 100 dado a conocer incluye al menos una unidad 106 de detección acústica distribuida (DAS), mostrando la Figura 1 tres unidades 106A, 106B y 106C de DAS. Cada unidad 106 de DAS está conectada comunicativamente a al menos un cable sensor 205 de fibra óptica. El al menos un cable sensor 205 de fibra óptica está también lastrado o anclado de otro modo por su extremo libre 114 y a intervalos apropiados a lo largo del cable
- 50

para anclar el cable sensor de fibra óptica al suelo marino. En el ejemplo de la Figura 1, cada unidad 106 de DAS está conectada comunicativamente a dos cables sensores 205 de fibra óptica y posicionada en una configuración lineal una con respecto a la otra. Se apreciará que la unidad 106 de DAS se puede posicionar en el suelo marino en cualquier configuración, por ejemplo, una configuración lineal o no lineal, que puede ser 2D ó 3D, tal como una configuración serpenteante o en zigzag.

En una realización, al menos un cable sensor 205 de fibra óptica puede comprender un revestimiento magnetorrestrictivo para detección magnética distribuida en el entorno marino que rodea el repetidor. El cable sensor 205 de fibra óptica con revestimiento magnetorrestrictivo puede detectar alteraciones del campo magnético creadas por una fuente magnética, tal como una embarcación marina, que se desplaza dentro del entorno marino. La presencia de la fuente magnética, procedente de un objeto estacionario o en movimiento, provocará una alteración localizada correspondiente del campo magnético que rodea el cable sensor 205 de fibra óptica y, a su vez, del índice de refracción del cable sensor 205 de fibra óptica. Debido al índice de refracción alterado, una señal óptica que se transmite a lo largo del cable sensor 205 de fibra óptica se retrodispersa de manera distribuida (por ejemplo, mediante dispersión de Rayleigh u otros fenómenos de dispersión similares) a todo lo largo de la fibra e incluirá fluctuaciones (por ejemplo, en intensidad y/o fase) a lo largo del tiempo. La magnitud de las fluctuaciones está relacionada con la gravedad o proximidad de la fuente magnética. La temporización de las fluctuaciones a lo largo de la escala de tiempo de la retrodispersión distribuida está relacionada con la ubicación de la fuente magnética.

En la realización mostrada en la Figura 1, un cable sensor 205 de fibra óptica que se extiende desde cada unidad 106 de DAS puede estar provisto de un revestimiento magnetorrestrictivo, y el cable sensor 205 de fibra óptica restante está provisto de un revestimiento no magnetorrestrictivo. Esta configuración de cables sensores 205 de fibra óptica puede proporcionar detección tanto acústica distribuida como magnética distribuida en el mismo entorno marino.

En la realización mostrada en la Figura 1, cada unidad 106 de DAS está acoplada a un concentrador 108 de distribución mediante un cable 110 de alimentación y datos. El concentrador 108 de distribución está conectado al repetidor 102 del cable submarino 104 de fibra óptica, con un cable 112 de alimentación y datos. El concentrador 108 de distribución puede estar separado del repetidor 102 del cable submarino 104 de fibra óptica a cualquier distancia adecuada a efectos de comunicar datos y alimentación. En un ejemplo, el concentrador 108 de distribución puede estar a 10-50 km del repetidor 102 del cable submarino 104 de fibra óptica, estando anclados de manera similar al suelo marino los cables 110 y 112 de alimentación y datos. Se puede proporcionar más de un concentrador 108 para cada repetidor, lo que permite un mayor número de unidades 106 de DAS conectadas comunicativamente al repetidor cuando sea necesario. Se pueden usar otras arquitecturas dependiendo de requisitos del sistema, incluyendo una conexión directa entre la DAS 106 y el repetidor 102, en cuyo caso el cable 110 de alimentación y datos se extiende entre la unidad 106 de DAS y el repetidor 102, e incluyendo el uso de otros componentes de red, incluidos enrutadores y conmutadores. En otras realizaciones, se puede transportar alimentación y datos en cables independientes entre la(s) unidad(es) 106 de DAS, el(los) concentrador(es) 108 y el repetidor 102. La red o línea de comunicación entre la(s) unidad(es) 106 de DAS y el repetidor puede estar en uno cualquiera de entre el dominio eléctrico u óptico o acústico.

En una realización, cada unidad 106 de DAS transmite señales de datos, que transportan información relacionada con al menos una propiedad óptica que se ha visto afectada por una alteración acústica en el entorno marino, mediante el componente portador de datos del cable 110 de alimentación y datos, al concentrador 108 de distribución. El concentrador 108 de distribución transfiere estas señales de datos al repetidor 102 mediante el componente portador de datos del cable 112 de alimentación y datos. El repetidor 102 transmite estas señales de datos desde el repetidor al cable submarino 104 de fibra óptica mediante el cable 306 de datos (figura 3b). En algunas realizaciones, la comunicación es unidireccional, desde la(s) unidad(es) 106 de DAS al repetidor 102. En otras realizaciones, la comunicación es bidireccional permitiendo, por ejemplo, que se comuniquen señales de control desde el repetidor 102 a la(s) unidad(es) 106 de DAS. Las señales de control pueden ser recibidas por el repetidor 102 a través del cable submarino 104 de fibra óptica.

En la realización mostrada en las Figuras 1 y 2b, un receptor 208 en la unidad 106 de DAS recibe luz óptica reflejada que ha sido retrodispersada a lo largo del al menos un cable sensor 205 de fibra óptica, incluyendo la luz óptica reflejada información acústica de la al menos una propiedad óptica que ha sido afectada por una alteración acústica en el entorno marino. La luz óptica reflejada de cada cable sensor 205 de fibra óptica se digitaliza a una velocidad de datos de 3.2 Gb/s y se convierte en una señal eléctrica. Un demodulador en la unidad 106 de DAS demodula las señales eléctricas para capturar la información acústica a una velocidad de datos de 200 Mb/s. A continuación, un multiplexor ubicado en cada unidad 106 de DAS multiplexa las dos señales eléctricas de 200 Mb/s en una única señal eléctrica de 400 Mb/s. A continuación, la unidad de DAS convierte esta señal eléctrica en una señal óptica y la transmite a lo largo del cable 110 al concentrador 108 de distribución. El concentrador 108 de distribución multiplexa ópticamente las tres señales ópticas recibidas de cada una de las unidades 106 de DAS y transmite esta señal óptica multiplexada al repetidor 102 del cable 104 de comunicaciones submarino mediante el cable 112. El acoplador de bucle de retorno en el repetidor 102 multiplexa en el tiempo y/o multiplexa en frecuencia digitalmente la señal óptica multiplexada con las señales ópticas que se desplazan a lo largo de los pares de fibra óptica del cable 104 de comunicaciones submarino.

El cable submarino 104 de fibra óptica también incluye un cable 304 de alimentación (figura 3b) que suministra alimentación al repetidor 102. Se proporciona alimentación a la(s) unidad(es) 106 de DAS desde el repetidor 102, opcionalmente mediante cualquier(cualesquiera) concentrador(es) 108 de distribución u otros componentes de red

intermediarios. Estos componentes de red intermediarios también obtienen su alimentación del cable submarino 104 de fibra óptica, mediante el repetidor 102.

En un ejemplo, los cables 110, 112 de alimentación y datos pueden comprender conectores de seis hilos y un cable de sujeción. Dos de estos hilos pueden ser un cable de par trenzado para la distribución de la alimentación, por ejemplo al concentrador 108 de distribución o a la unidad 106 de DAS, y los cuatro hilos restantes pueden usarse para una transmisión de datos bidireccional entre el concentrador 108 de distribución o la unidad 106 de DAS y el repetidor 102. Las velocidades de transmisión de datos pueden ser ajustables dependiendo del número de puertos del repetidor 102. Por ejemplo, se puede usar una velocidad de 100 Mbs entre el concentrador 108 de distribución o la unidad 106 de DAS y el repetidor 102. En otro ejemplo, el repetidor 102 que transmite datos al concentrador 108 de distribución o a la unidad 106 de DAS puede utilizar una velocidad de 10 Gb/s.

En la realización mostrada en la Figura 1, tres unidades 106A-106C de DAS están separadas entre sí, por ejemplo con una separación del orden de 100 km, teniendo cada unidad 106A-C de DAS dos cables sensores de fibra óptica que se extienden hacia fuera, cada uno de ellos con una longitud de aproximadamente 50 km. La configuración mostrada en la Figura 1 simula un detector con una huella de detección que tiene un diámetro de aproximadamente 300 km y abarca un área geográfica submarina más grande que la que abarcaría, de otro modo, una cualquiera de las unidades 106 de DAS sola.

En algunas circunstancias, diferentes unidades 106 de DAS pueden detectar el mismo evento acústico en el entorno marino, utilizándose la detección para aumentar la precisión espacial de localización del evento acústico. Por ejemplo, un evento acústico puede ser detectado por las unidades 106A, 106B de DAS pero no por la unidad 106C de DAS. Dicha detección puede indicar, por ejemplo, que la incidencia correspondiente está ubicada en el entorno marino entre las unidades 106A y 106B de DAS. Se pueden usar datos de temporización para refinar aún más la determinación de la posición del evento acústico, por ejemplo usando triangulación.

Uno de los métodos ejemplificativos para detección acústica distribuida en un entorno marino que rodea un repetidor a lo largo de un cable de comunicaciones submarino de fibra óptica incluye las etapas de: (a) transmitir luz saliente desde una fuente de luz de al menos una unidad de detección acústica distribuida (DAS) en al menos un cable sensor de fibra óptica ubicado en el entorno marino; (b) recibir luz reflejada de la luz saliente en un receptor de la al menos una unidad de DAS, siendo la luz reflejada luz saliente que ha sido retrodispersada a lo largo del al menos un cable sensor de fibra óptica e incluye al menos una propiedad óptica afectada por una alteración acústica en el entorno marino; y (c) multiplexar, mediante un multiplexor óptico, señales ópticas sobre el cable de comunicaciones submarino de fibra óptica mediante un repetidor, transportando las señales ópticas información sobre la al menos una propiedad óptica afectada.

Unidad de Detección Acústica Distribuida (DAS)

En las Figuras 2a-2b se muestra un ejemplo de una unidad 106 de detección acústica distribuida (DAS) que se puede usar con un repetidor 102 a lo largo de un cable 104 de comunicaciones submarino de fibra óptica desplegado o existente, para detectar alteraciones acústicas dentro del entorno marino.

La unidad 106 de DAS incluye una carcasa presurizada 201 para soportar las altas presiones de agua asociadas a diversas profundidades en el entorno submarino, por ejemplo 0-7 km. Dentro de la carcasa presurizada 201, la unidad 106 de DAS incluye un reflectómetro óptico coherente en el dominio del tiempo (OTDR) 202.

El OTDR 202 incluye una fuente 204 de luz para transmitir luz saliente 206 en al menos un cable sensor 205 de fibra óptica, ubicado en el entorno marino y que se extiende hacia fuera desde la unidad de DAS. La luz saliente 206 que se enviará a la fibra óptica 205 puede adoptar la forma de uno o más impulsos ópticos cortos. La fuente 204 de luz puede comprender uno o una pluralidad de componentes, por ejemplo uno o una pluralidad de dispositivos de láser.

El OTDR 202 incluye un receptor 208, que incorpora, por ejemplo, un fotodetector, el cual está configurado para recibir y detectar luz reflejada 210 de la luz saliente 206, que comprende luz que ha sido retrodispersada a lo largo del cable sensor 205 de fibra óptica. Si el OTDR 202 es sensible a la fase, se pueden medir de forma adicional o alternativa fluctuaciones de fase de la luz reflejada. La luz reflejada 210 incluye al menos una propiedad óptica que ha sido afectada por una alteración acústica en el entorno marino. Como se ha descrito anteriormente, la magnitud de la luz reflejada 210 puede ser indicativa de la gravedad o proximidad de la alteración acústica en el entorno marino. En otro ejemplo, la temporización de la luz reflejada 210 puede ser indicativa de la ubicación del evento acústico.

La luz reflejada 210 se considera una señal óptica que transporta información sobre la al menos una propiedad óptica que ha sido afectada por la alteración acústica. La unidad 106 de DAS, por ejemplo con el OTDR 202, comunica una primera señal basada en esta información al multiplexor óptico 214. El multiplexor óptico 214 multiplexa una segunda señal sobre el cable submarino 104 de fibra óptica. Las señales ópticas multiplexadas sobre el cable 104 de comunicaciones submarino de fibra óptica transportan información sobre la al menos una propiedad óptica afectada por la alteración acústica.

Como se ha descrito anteriormente, el par de fuente 204 de luz y receptor 208 se puede proporcionar en un reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR) 202. El OTDR 202 incluye un transmisor 212 para transmitir

señales de datos representativas de la luz reflejada 210 recibida por el OTDR 202.

El sistema y el método de detección acústica distribuida dados a conocer en la presente se pueden usar con técnicas de procesamiento de sistemas de emisión en fase y conformación de haz. Como se ha mencionado anteriormente, puede enviarse luz saliente 106 al cable sensor 205 de fibra óptica en forma de una serie de impulsos ópticos. La luz reflejada 210 producida como resultado de la retrodispersión de la luz saliente 106 a lo largo del cable sensor 205 de fibra óptica se registra con respecto al tiempo en el receptor 208. Esta configuración permite la determinación de una señal acústica (amplitud, frecuencia y fase) en cada distancia a lo largo del cable sensor 205 de fibra óptica. En una realización, el receptor 208 registra los tiempos de llegada de los impulsos de luz reflejada 210 para determinar la ubicación y, por lo tanto, el canal en el que se generó la luz reflejada a lo largo del cable sensor 205 de fibra óptica. Este procesamiento con sistemas de emisión en fase puede permitir mejores relaciones señal/ruido para obtener una mejor detección de largo alcance de una fuente acústica marina, así como la dirección, velocidad, ubicación y clasificación de la fuente acústica.

Para determinar el ángulo o la distancia de la fuente acústica desde el cable sensor 205 de fibra óptica, se pueden aplicar técnicas de conformación de haces. Las técnicas de conformación de haces implican la suma de una serie temporal acústica proveniente de canales adyacentes a lo largo del cable de fibra con grados variables de retardo temporal en cada canal (o posición espacial a lo largo del cable). El grado de retardo temporal sumado a los canales acústicos en los procesos de suma modifica la dirección o ubicación en la que el haz formado mediante el procesamiento por sistemas de emisión adquiere la mayor sensibilidad. En una realización, la conformación de haces se realiza en el dominio del tiempo enviando la luz saliente 106 al cable sensor 205 de fibra óptica en forma de una serie de impulsos ópticos. Cada impulso óptico produce una medición de la serie temporal acústica correspondiente a cada canal a lo largo del cable sensor. A continuación, se forman haces matemáticamente a partir de una serie temporal en evolución variando el retardo temporal de cada canal que entra en una suma. Sin la adición de ningún retardo en los canales, se forma un haz que presenta la mayor intensidad a 90 grados con respecto al eje del cable de fibra. A medida que se suma un retardo temporal incremental por los canales, el lóbulo principal del haz se mueve espacialmente hacia una mayor sensibilidad a lo largo del eje del cable. Estas técnicas de conformación de haz pueden dar como resultado un haz de exploración estrecho que puede proporcionar la dirección de la fuente acústica marina y su ubicación con respecto al cable sensor 205 de fibra óptica para monitorizar selectivamente diferentes zonas del campo acústico con un intervalo mejorado de ganancia del sistema de emisión y capacidades de detección mejoradas.

Cable de comunicaciones submarino y repetidor

En las Figuras 3a-3b se muestra una realización de un repetidor 102 modificado que, como se ha descrito anteriormente, actúa como amplificador óptico para las señales ópticas transmitidas a lo largo del cable 104 de comunicaciones submarino. El repetidor 102 comprende un puerto 302 para acoplarse al cable 112 de alimentación y datos. El repetidor 102 transmite señales recibidas relacionadas con una alteración acústica desde la(s) unidad(es) 106 de DAS sobre el cable 104 de comunicaciones submarino de fibra óptica. El repetidor 102 también transmite alimentación a la(s) unidad(es) 106 de DAS.

En una realización, el multiplexor óptico 214 se implementa en un módulo acoplador 414 de bucle de retorno del repetidor 102 del cable 104 de comunicaciones submarino, por ejemplo como se muestra en la Figura 4. El cable 104 de comunicaciones submarino comprende múltiples pares de fibra óptica, donde cada par de fibra óptica proporciona una conexión bidireccional con una capacidad de datos simétrica entre dos estaciones de comunicación terrestres. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de un par de fibra óptica que comprende una primera y una segunda fibras ópticas 404a, 404b.

Unos acopladores 406a, 406b están ubicados a lo largo de cada una de la primera y segunda fibras ópticas 404a, 404b en el repetidor 102 para acoplar la unidad 412 de bomba óptica a los amplificadores ópticos 408a, 408b. Una señal de luz óptica enviada a lo largo de la primera y segunda fibras ópticas 404a, 404b del cable 102 de comunicaciones submarino se amplifica en los amplificadores 408a, 408b. La señal óptica amplificada resultante se transmite a continuación a una distancia adicional a lo largo del cable 102 de comunicaciones submarino.

Como se muestra en la Figura 4, el repetidor 102 comprende además un módulo acoplador 414 de bucle de retorno que está acoplado a la primera y segunda fibras ópticas 404a, 404b, respectivamente. El módulo acoplador 414 de bucle de retorno puede comprender Redes de Bragg en Fibra (FBG) 416a, 416b. Cada FBG 416a, 416b puede reflejar una longitud de onda de luz óptica enviada dentro de la primera o segunda fibra óptica 404a ó 404b del cable 104 de comunicaciones submarino de vuelta en la dirección de la estación terrestre de origen, mientras transmite la totalidad del resto de longitudes de onda a lo largo de la fibra óptica 404a ó 404b restante hacia la estación terrestre de destino. Por ejemplo, una longitud de onda de luz óptica enviada a lo largo de la fibra óptica 404b del cable 102 de comunicaciones submarino puede ser reflejada por el módulo acoplador 414 de bucle de retorno y transmitida a lo largo de la fibra óptica 404a de vuelta en la dirección de la estación terrestre de origen de la fibra óptica 404b (correspondiente a la dirección de la estación terrestre de destino de la fibra óptica 404a) como se indica con A en la Figura 4, mientras que las longitudes de onda de luz restantes se transmiten a lo largo de la fibra óptica 404b hacia la estación terrestre de destino de la fibra óptica 404b (correspondiente a la dirección de la estación terrestre de origen de la fibra óptica 404a), como se indica con B en la Figura 4.

Como se ha descrito anteriormente en el presente documento, en una realización, el módulo acoplador 414 de bucle de retorno está acoplado directamente a una o más unidades 106 de DAS. En otra realización, el módulo acoplador 414 de bucle de retorno puede acoplarse a las unidades 106 de DAS mediante uno o más concentradores 108 de distribución y/u otros componentes de la red.

5 Las FBG 416a, 416b del módulo acoplador 414 de bucle de retorno se pueden usar para multiplexar la luz reflejada de cada unidad 106 de DAS en una señal óptica combinada a una longitud de onda particular. La señal óptica multiplexada resultante incluye al menos una propiedad óptica que ha sido afectada por una alteración acústica en el entorno marino, según lo detectado por una o más unidades 106 de DAS. Esta señal óptica multiplexada se transmite a continuación a lo largo de la fibra óptica 404a ó 404b. La señal óptica puede ser amplificada por uno o más repetidores del cable de comunicaciones submarino. En un ejemplo, la señal óptica multiplexada se transmite a lo largo de la fibra óptica 404a del cable 104 de comunicaciones submarino hacia una estación terrestre de destino de la fibra óptica 404a.

En algunas realizaciones, la señal óptica multiplexada es una señal multiplexada en el tiempo y/o multiplexada en frecuencia, con otras señales ópticas que se transmiten a lo largo del cable 104 de comunicaciones submarino de fibra óptica.

En algunas realizaciones, las señales ópticas detectadas por la unidad o unidades 106 de DAS se transfieren directamente al cable 104 de comunicaciones submarino. En otras realizaciones, las señales detectadas por la unidad o unidades 106 de DAS se procesan y se comunica una salida del procesamiento sobre el cable 104 de comunicaciones submarino. Por ejemplo, el transmisor óptico puede generar una señal óptica para su transmisión a lo largo del cable 104 de comunicaciones submarino únicamente si las fluctuaciones de la luz reflejada recibida por cada unidad 106 de DAS desde el/los cable/s sensor/es 105 de fibra óptica están por encima de un valor de umbral predeterminado, lo que indica un evento acústico relativamente grave o un evento acústico que se ha producido cerca de los cables sensores de fibra óptica de la(s) unidad(es) 106 de DAS relevante(s). La señal transmitida puede ser una simple bandera que indica la incidencia del evento, o puede contener información sobre el evento, por ejemplo una ubicación determinada por el procesamiento de la señal o información para permitir que se lleve a cabo una determinación de la ubicación u otro análisis en un procesador remoto, por ejemplo un procesador terrestre.

Procesamiento de señales ópticas

Como se ha descrito anteriormente, las señales de las unidades 106 de DAS pueden procesarse, por ejemplo, para generar una señal de alerta representativa del evento acústico detectado. La Figura 5 ilustra una gráfica de densidad de ejemplo que combina señales eléctricas 512 obtenidas a partir de la señal óptica multiplexada. El eje horizontal (etiquetado con "Canal") representa la posición a lo largo de una fibra óptica sensora de una unidad 106 de DAS, el eje vertical (etiquetado con "Tiempo") representa el tiempo, y la amplitud de la gráfica, codificada por colores, representa la intensidad acústica. En la Figura 5, características tales como líneas rectas con gradientes relativamente constantes están asociadas a objetos en movimiento (siendo los gradientes indicativos de velocidad) que provocan el evento acústico relevante detectado por la unidad 106 de DAS. El evento acústico que se está determinando puede ser indicativo de incidencias estacionarias o en movimiento específicas, tales como embarcaciones marinas, que se desplazan a través del entorno marino que rodea la unidad 106 de DAS.

También se puede generar una alerta clasificando la señal de alerta en una o más clases de alertas (por ejemplo, intrusión fronteriza, etc.) sobre la base de firmas acústicas de las fluctuaciones de la señal óptica recibida en la estación terrestre. Algunas técnicas de clasificación de alertas se resumen y se presentan como referencia, por ejemplo, en "Fiber Sensing: Optical Fiber monitors the arterial Networks of Commerce", *Laser Focus World*, volumen 51, número 08, 8 de junio de 2015 (<http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-51/issue-08/features/fiber-sensing-optical-fiber-monitors-the-arterial-networks-of-commerce.html>). En una configuración, el entorno marino en el que se lleva a cabo la captación se divide en múltiples zonas correspondientes a diferentes secciones a lo largo del cable 104 de comunicaciones submarino de fibra óptica. En esta configuración, cada zona o sección correspondiente está asociada a la generación de una o más clases seleccionadas de alertas (o a la no generación de una o más clases excluidas de alertas). Por ejemplo, las clases de alertas seleccionadas para su generación pueden estar asociadas a una embarcación que se desplaza por el entorno marino. En este ejemplo, las clases de alertas pueden aumentar en importancia a medida que la embarcación marina se desplaza a través de las zonas respectivas del entorno marino y hacia una línea costera. Adicionalmente, las clases de alertas excluidas para su generación pueden estar asociadas al movimiento de las olas, al movimiento tectónico o a la actividad volcánica submarina.

Calibración acústica

Un entorno marino a través del cual se efectúa la detección acústica distribuida es probablemente un área con interferencias acústicas no deseadas provocadas por la acción de las olas, organismos biológicos o similares. Las interferencias acústicas no deseadas pueden interferir, enmascarar o afectar de otro modo a las características del evento acústico que se está determinando. En una configuración, para reducir el impacto de las interferencias acústicas no deseadas, se aplica un filtrado espectral a las fluctuaciones detectadas de la luz óptica recibida en la estación terrestre con el fin de reducir o eliminar fluctuaciones asociadas a las interferencias acústicas no deseadas.

Además, puede aplicarse selectivamente un filtrado espectral a una o más zonas del entorno marino. Zonas diferentes del área marina pueden requerir un filtrado espectral diferente o nulo. Por ejemplo, más lejos de la línea costera puede haber menos ruido por embarcaciones marinas y puede que no sea necesario aplicar técnicas de filtrado. De manera alternativa o adicional, el método dado a conocer puede aplicar selectivamente el filtrado espectral a las fluctuaciones basándose en el tiempo, por ejemplo la hora del día o el día de la semana.

Calibración espacial

En una realización, se calibran espacialmente una posición a lo largo de un cable sensor 205 de fibra óptica que se extiende desde una unidad 106 de DAS y una ubicación en el área geográfica. La calibración espacial puede incluir la generación de una señal de calibración acústica (por ejemplo, un tono de frecuencia única a 420 Hz $\pm$ 5 Hz seleccionado para que sea distinto de las fuentes de ruido típicas en el entorno marino) en ubicaciones específicas dentro del entorno marino para provocar fluctuaciones con vistas a una detección a todo lo largo del cable sensor 205 de fibra óptica. Al restringir la frecuencia de la señal de calibración acústica a 420 Hz $\pm$ 5 Hz, se pueden eliminar otras fuentes de ruido acústico en el entorno marino. Con la eliminación de otras fuentes de ruido acústico, se puede detectar una señal intensa que se corresponde con el tono de frecuencia única, como se puede observar en la Figura 5c alrededor del Canal 1990. Se espera que se detecte una fluctuación óptica correspondiente a la señal acústica de calibración en una posición específica a lo largo del cable sensor 205 de fibra óptica. El par correspondiente de la ubicación dentro de un entorno marino y la posición a lo largo del cable sensor 205 de fibra óptica donde se detecta la fluctuación forma un punto de calibración espacial. Pueden formarse puntos de calibración espacial adicionales a lo largo de la fibra y dentro del entorno marino.

Si se detecta un evento acústico en una posición a lo largo de la fibra entre dos puntos de calibración, se puede usar una interpolación (por ejemplo, lineal o no lineal) para estimar la ubicación de la incidencia correspondiente dentro del entorno marino. Si se detecta un evento acústico en una posición a lo largo de la fibra más allá del primer y del último puntos de calibración, se puede usar una extrapolación (por ejemplo, lineal o no lineal) para estimar la ubicación de la incidencia correspondiente dentro del entorno marino.

Incidencias estacionarias o en movimiento

Como se ha mencionado anteriormente, los eventos acústicos que se están determinando pueden ser indicativos de incidencias estacionarias o en movimiento específicas. Por ejemplo, como se ilustra en la Figura 5c, características tales como líneas rectas con gradientes relativamente constantes están asociadas a los objetos en movimiento (siendo los gradientes indicativos de velocidad) que provocan los eventos acústicos relevantes detectados por la unidad 106 de DAS. El procesamiento de la señal óptica multiplexada en la estación base terrestre puede implicar la determinación de si un evento acústico es estacionario o está en movimiento. Por ejemplo, la determinación puede incluir comparar una velocidad estimada (por ejemplo, basada en el gradiente de una línea recta) del evento acústico con un valor de velocidad de umbral. Cuando la velocidad estimada del evento acústico está por debajo del valor de velocidad de umbral, se determina que el evento acústico es estacionario; en caso contrario, se determina que está en movimiento. En el caso de que el evento acústico esté en movimiento, puede producirse un procesamiento adicional para suprimir la generación de la señal de alerta representativa del evento acústico. Esta supresión es útil para evitar falsas alarmas debido a que el número de incidencias marinas benignas (por ejemplo, movimiento de olas) puede ser mucho mayor que el de amenazas auténticas (por ejemplo, embarcaciones marinas que entran en el entorno marino). Sin dicha supresión, se puede generar un gran número de falsas alarmas hasta el punto de que el método dado a conocer resulte ineficaz. En una disposición, el valor de velocidad de umbral se puede ajustar para reducir el número de falsas alarmas.

Ahora que se han descrito las disposiciones de la presente divulgación, debe resultar evidente para el experto en la técnica que las disposiciones descritas tienen las siguientes ventajas:

- La configuración de las unidades de DAS dentro del entorno marino puede proporcionar capacidades de captación y monitorización de entornos marítimos extensos y aperturas de vigilancia más amplias en comparación con métodos convencionales.
- La capacidad de una unidad 106 de DAS para acoplarse a un repetidor de un cable de comunicaciones submarino de fibra óptica con fines de alimentación y comunicación puede proporcionar capacidades de monitorización permanente para el entorno marino.
- Las unidades de DAS, al estar ubicadas en el suelo marino, en lugar de en o sobre la superficie del océano, proporcionan un mecanismo encubierto de monitorización del entorno marino.
- El método y sistema dados a conocer pueden utilizar un mayor número de canales, por ejemplo, 10,000-30,000, lo que da como resultado una monitorización más precisa del entorno marino en comparación con métodos convencionales.

Se entenderá que la invención dada a conocer y definida en esta especificación se extiende a todas las combinaciones alternativas que se sitúan dentro del alcance definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100) para detección acústica distribuida en un entorno marino que rodea un repetidor (102) a lo largo de un cable (104) de comunicaciones submarino de fibra óptica, comprendiendo el sistema (100): al menos un cable sensor (205) de fibra óptica,
5 al menos una unidad (106) de detección acústica distribuida, DAS, que comprende:
una fuente (204) de luz que está configurada para transmitir luz saliente (206) en el al menos un cable sensor (205) de fibra óptica ubicado en el entorno marino; y
un receptor (208) configurado para recibir luz reflejada (210) de la luz saliente que ha sido retrodispersada a lo largo del al menos un cable sensor (205) de fibra óptica, incluyendo la luz reflejada (210) al menos una propiedad óptica
10 afectada por una alteración acústica en el entorno marino; y
un multiplexor óptico (214) para multiplexar señales ópticas sobre el cable (104) de comunicaciones submarino de fibra óptica mediante el repetidor (102), transportando las señales ópticas información sobre la al menos una propiedad óptica afectada por una alteración acústica en el entorno marino;
caracterizado por que
15 el al menos un cable sensor (205) de fibra óptica comprende al menos dos cables sensores de fibra óptica y en el que la al menos una unidad (106) de DAS comprende múltiples unidades (106A, 106B y 106C) de DAS separadas entre sí.
2. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el que el multiplexor óptico (214) está configurado para multiplexar las señales ópticas sobre el cable (104) de comunicaciones submarino de fibra óptica mediante un acoplador (414) de
20 bucle de retorno del repetidor (102).
3. El sistema (100) de la reivindicación 1 ó 2, en el que el multiplexor óptico (214) está configurado para multiplexar en el tiempo y/o multiplexar en frecuencia las señales ópticas con otras señales ópticas transportadas en el cable (104) de comunicaciones submarino de fibra óptica.
4. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el multiplexor óptico (214) incluye un
25 transmisor óptico configurado para generar las señales ópticas basándose en la información sobre la al menos una propiedad óptica afectada por una alteración acústica en el entorno marino.
5. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la al menos una unidad (106) de DAS está configurada para ser alimentada por el repetidor (102).
6. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que las unidades (106A, 106B y 106C) de
30 DAS están conectadas mediante un concentrador (108) de distribución que, a su vez, está configurado para comunicarse con el repetidor (102) mediante un cable (110) de alimentación y datos.
7. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que al menos uno de los cables sensores (205) de fibra óptica está provisto de un revestimiento magnetorrestrictivo para detección magnética distribuida en el entorno marino que rodea el repetidor (102).
8. El sistema (100) de la reivindicación 7, que incluye una combinación de cables sensores acústicos de fibra óptica y
35 magnetorrestrictivos de fibra óptica para proporcionar captación tanto acústica distribuida como magnética distribuida en el mismo entorno marino.
9. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que se aplica conformación de haces a una serie temporal acústica para generar un haz de exploración con el fin de determinar la ubicación y la dirección de
40 alteraciones acústicas.
10. El sistema (100) de la reivindicación 9, en el que la al menos una unidad (106) de DAS está configurada para implementar conformación de haces a lo largo del al menos un cable sensor (205) de fibra óptica de tal modo que el haz de exploración proporcione la dirección de la alteración acústica marina y su ubicación con respecto al cable sensor (205) de fibra óptica.
11. Un método para detección acústica distribuida en un entorno marino que rodea un repetidor (102) a lo largo de un
45 cable (104) de comunicaciones submarino de fibra óptica, comprendiendo el método:
transmitir luz saliente (206) desde una fuente (204) de luz de al menos una unidad (106) de detección acústica distribuida (DAS) en al menos un cable sensor (205) de fibra óptica ubicado en el entorno marino; y
50 recibir luz reflejada (210) de la luz saliente en un receptor de la al menos una unidad (106) de DAS, siendo la luz reflejada (210) luz saliente (206) que ha sido retrodispersada a lo largo del al menos un cable sensor (205) de fibra

óptica e incluye al menos una propiedad óptica afectada por una alteración acústica en el entorno marino; y

multiplexar, mediante un multiplexor óptico (214), señales ópticas sobre el cable (104) de comunicaciones submarino de fibra óptica mediante el repetidor (102), transportando las señales ópticas información sobre la al menos una propiedad óptica afectada por una alteración acústica en el entorno marino

5 caracterizado por que

el al menos un cable sensor (205) de fibra óptica comprende al menos dos cables sensores de fibra óptica y en donde la al menos una unidad (106) de DAS comprende múltiples unidades (por ejemplo, 106A, 106B y 106C) de DAS separadas entre sí.

10 12. El método de la reivindicación 11, en el que la multiplexación de las señales ópticas sobre el cable de comunicaciones submarino de fibra óptica se realiza mediante un acoplador (414) de bucle de retorno del repetidor (102).

13. El método de la reivindicación 11 ó 12, en el que la multiplexación se produce mediante multiplexación en el tiempo y/o multiplexación en frecuencia, de las señales ópticas, sobre el cable (104) de comunicaciones submarino de fibra óptica.

15 14. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, que comprende además generar, en un transmisor óptico del multiplexor óptico (214), las señales ópticas basándose en la información sobre la al menos una propiedad óptica afectada por una alteración en el entorno marino.

20 15. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, en el que se aplica conformación de haces a series temporales de canales acústicos y esto da como resultado la formación de al menos un haz de exploración, y en el que la al menos una unidad (106) de DAS está configurada para implementar conformación de haces, de tal manera que el haz de exploración proporciona la dirección de la alteración acústica y su ubicación con respecto al cable sensor (205) de fibra óptica.

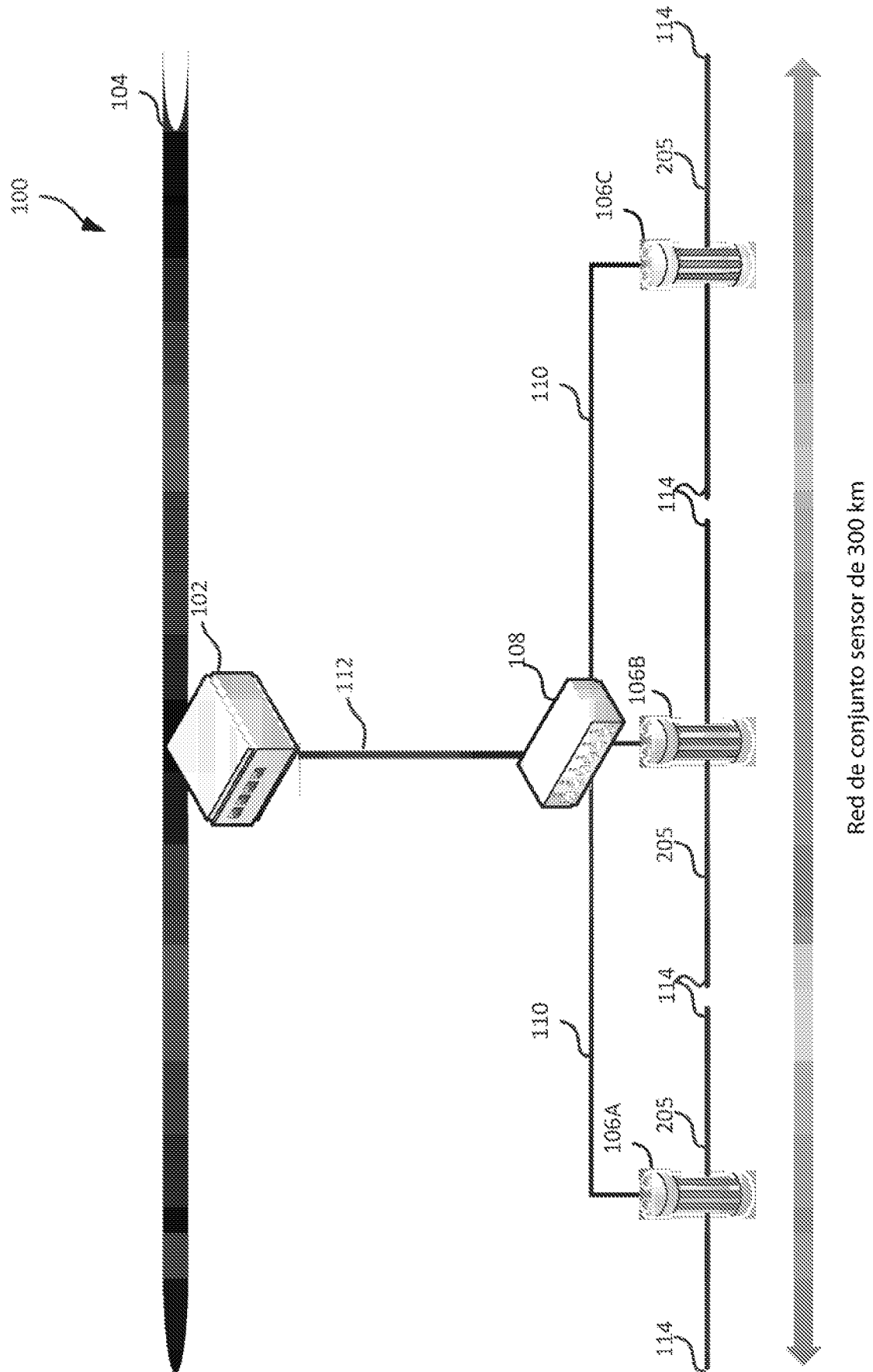


Fig. 1

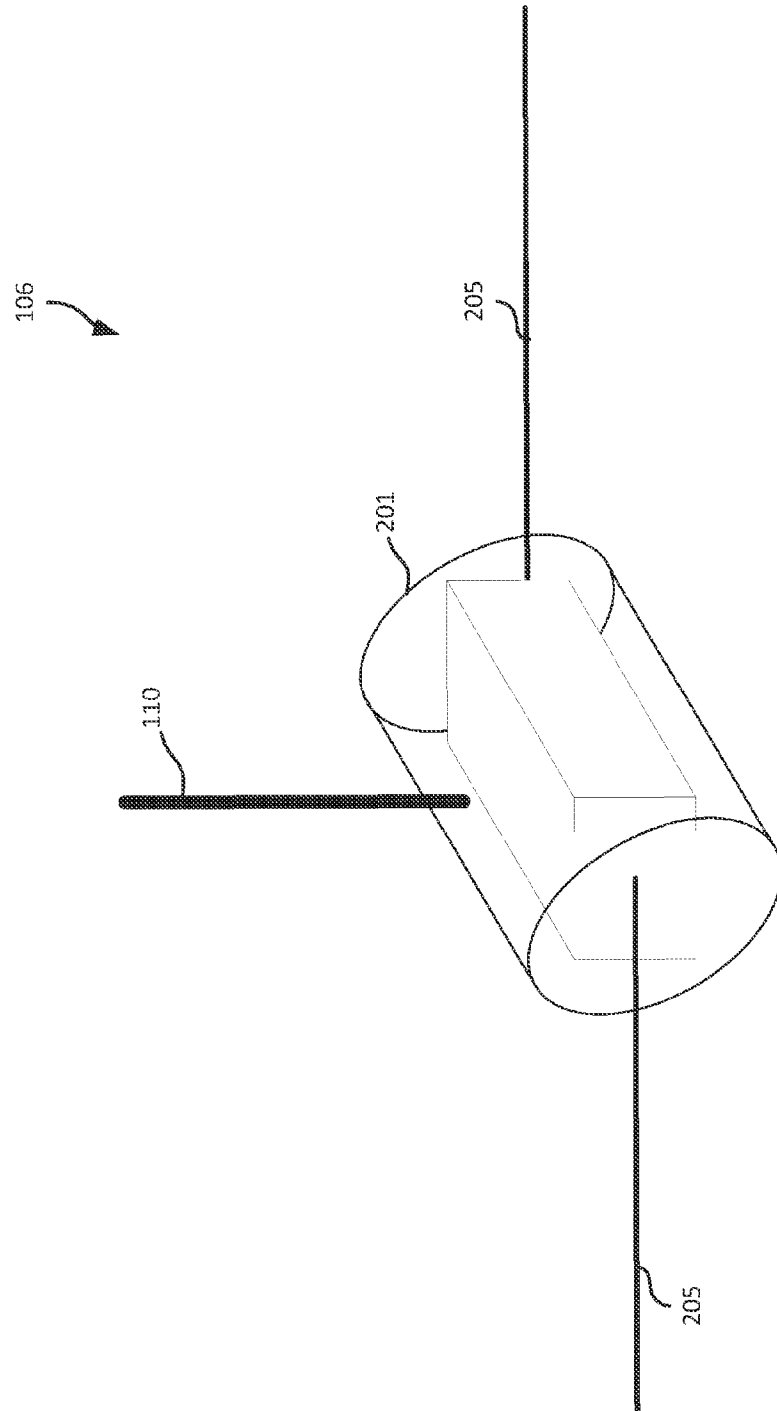


Fig. 2a

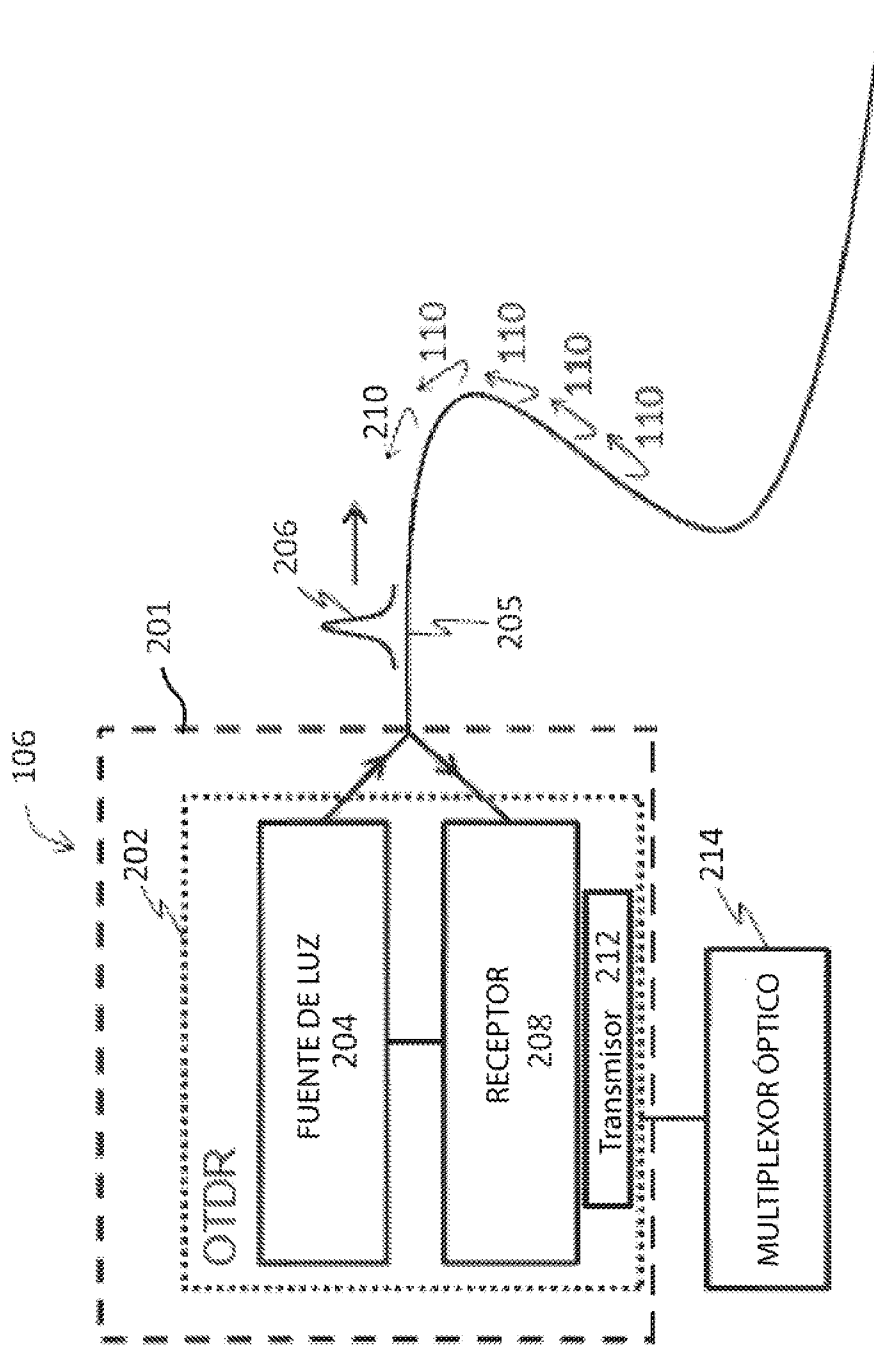


Fig. 2b

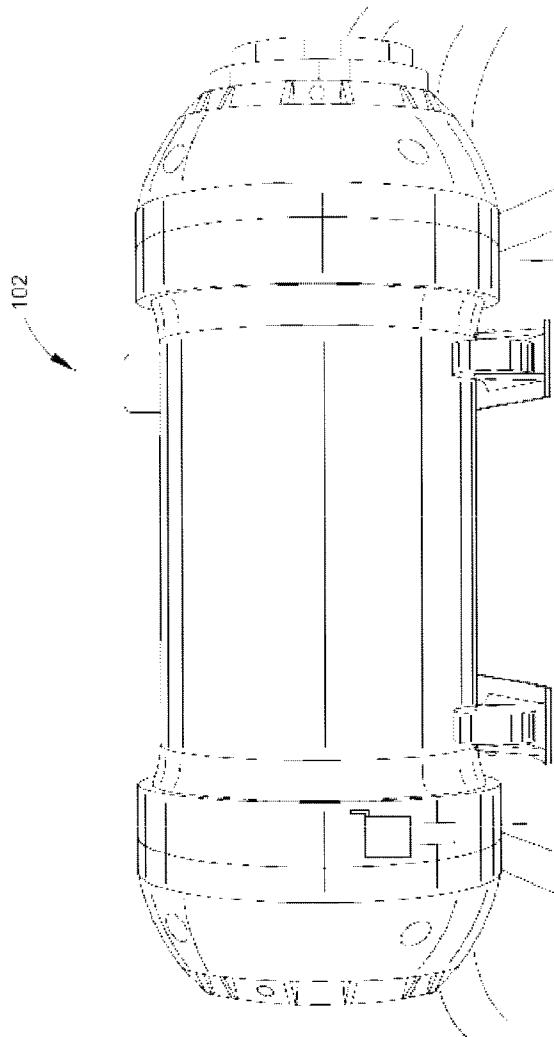


Fig. 3a

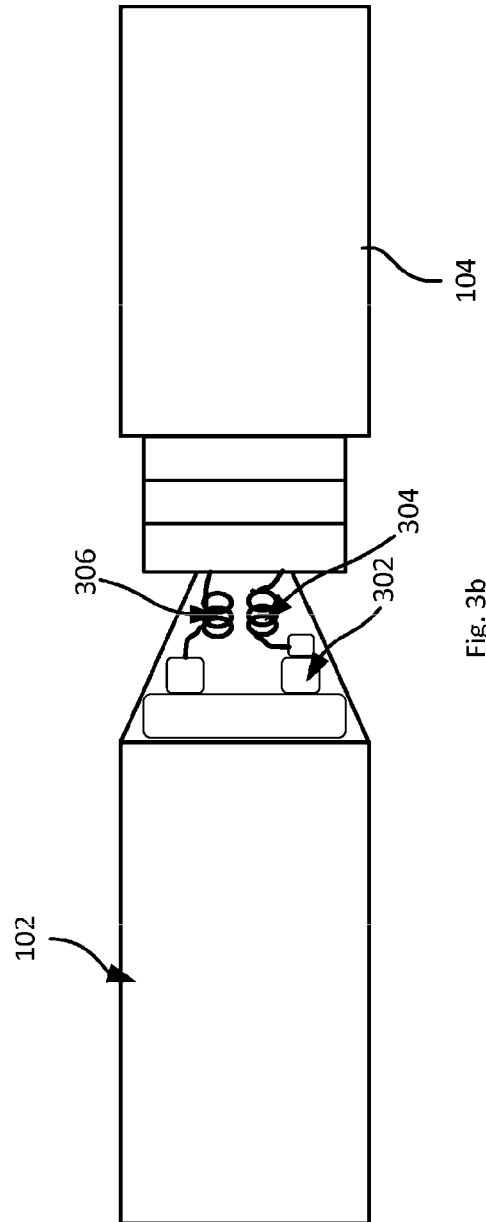


Fig. 3b

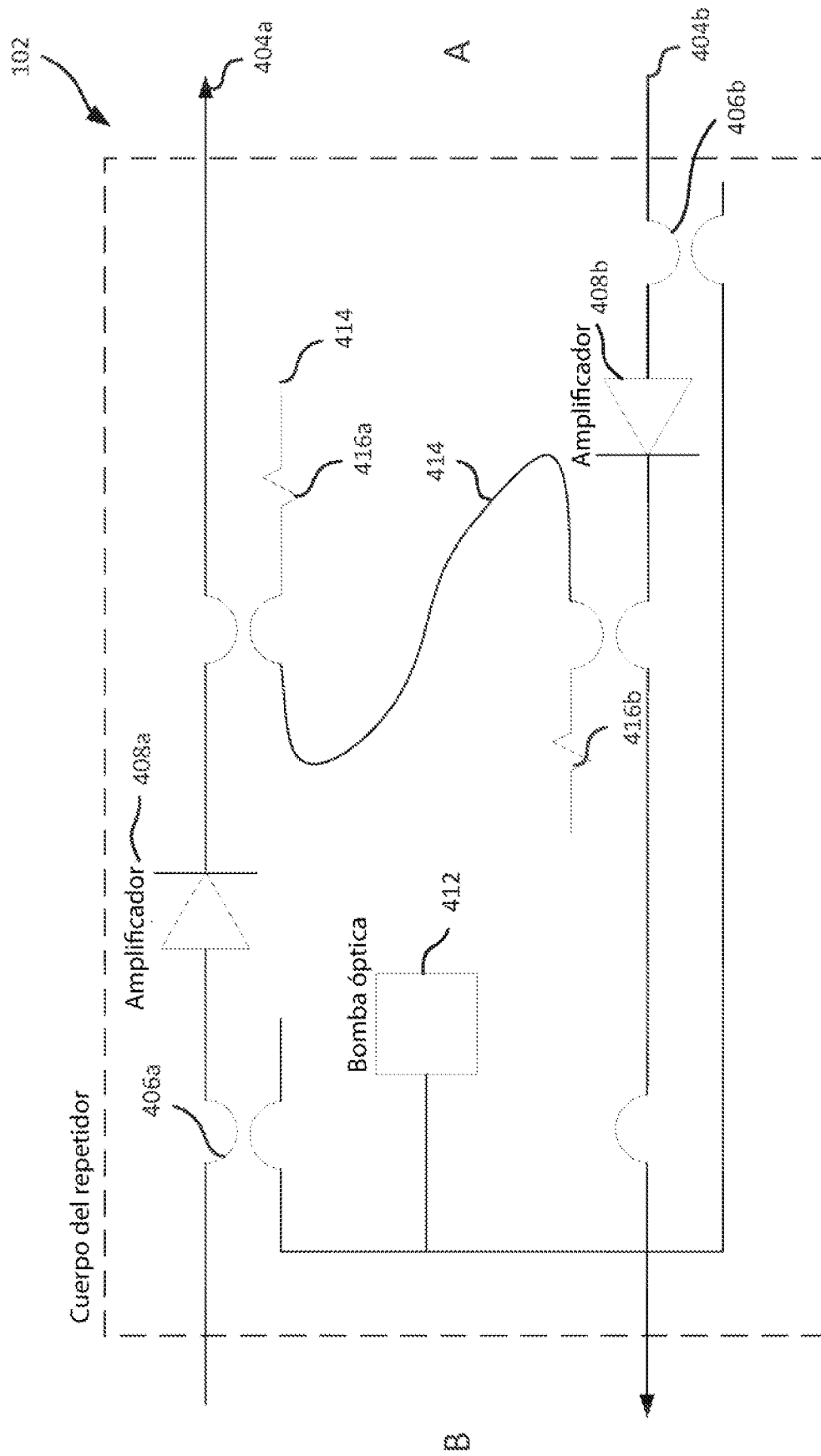


Fig. 4

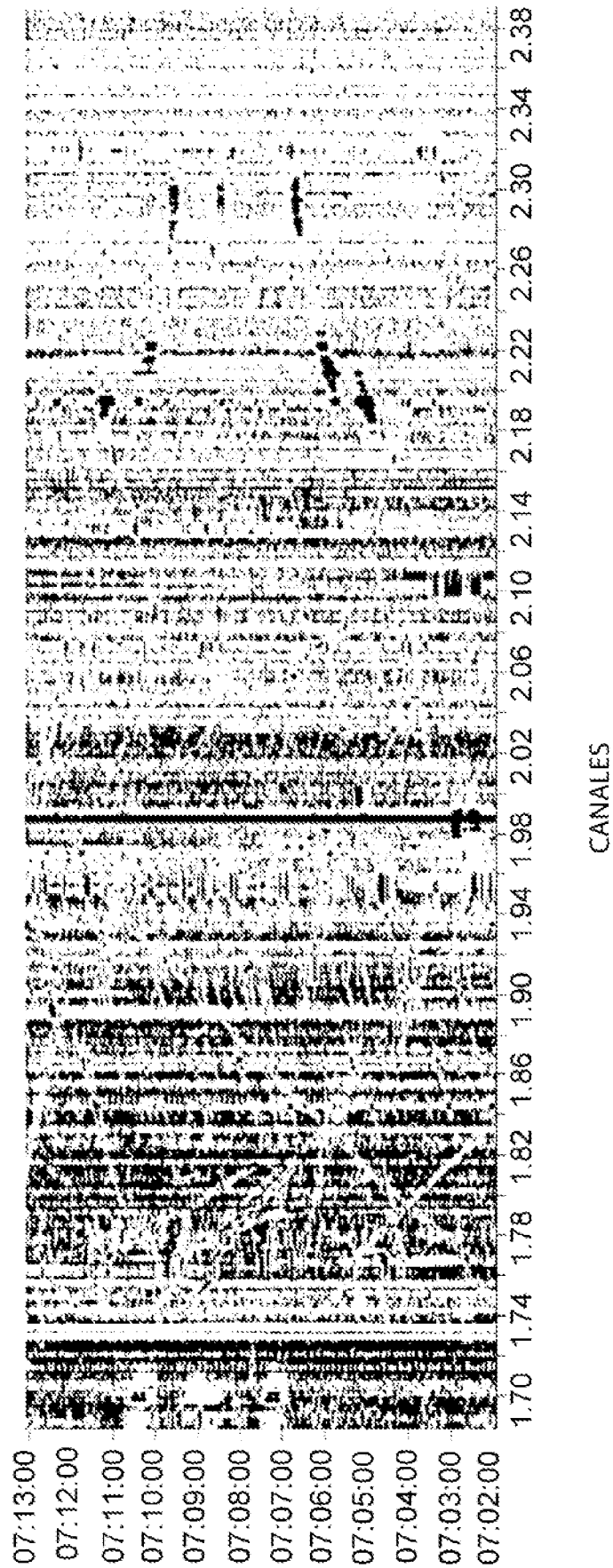


Fig. 5