

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 675 897**

51 Int. Cl.:

G01D 5/353 (2006.01)

G08B 13/186 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.11.2010 PCT/GB2010/002072**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.05.2011 WO11058312**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2010 E 10785487 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 2499465**

54 Título: **Detección distribuida de fibra óptica**

30 Prioridad:

13.11.2009 GB 0919899

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

13.07.2018

73 Titular/es:

**OPTASENSE HOLDINGS LIMITED (100.0%)
Cody Technology Park Ively Road Farnborough
Hampshire GU14 0LX, GB**

72 Inventor/es:

**HILL, DAVID, JOHN y
MCEWEN-KING, MAGNUS**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 675 897 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

Detección distribuida de fibra óptica

La presente invención se refiere a la detección distribuida de fibra óptica, y especialmente a la detección acústica distribuida de fibra óptica. En particular, la invención se refiere a métodos y aparatos para detección acústica distribuida que proporcionan una pluralidad de funciones de detección independientes.

Se conocen varios sensores que utilizan fibras ópticas. Muchos de estos sensores se basan en sensores de puntos de fibra óptica o sitios discretos de reflexión tales como redes de fibra de Bragg o similares, dispuestas a lo largo de una fibra óptica. Los retornos de los sensores discretos de puntos o sitios de reflexión pueden analizarse para proporcionar una indicación de la temperatura, tensión y/o vibración en la proximidad de los sensores discretos o sitios de reflexión.

Dichos sensores que utilizan puntos de reflexión discretos o sensores de punto de fibra óptica requieren que la fibra óptica que incluye las porciones de sensor se fabrique especialmente. Además, la distribución de los sensores dentro de la fibra óptica es fija.

También se conocen sensores de fibra óptica totalmente distribuidos en los que se utiliza la dispersión intrínseca a partir de una longitud continua de fibra óptica. Dichos sensores permiten el uso de un cable de fibra óptica estándar sin sitios de reflexión introducidos deliberadamente, tales como rejillas de fibra de Bragg o similares. Toda la fibra óptica desde la cual se puede detectar una señal de retrodispersión puede utilizarse como parte del sensor. Las técnicas de división de tiempo se usan típicamente para dividir los retornos de señal en un número de intervalos de tiempo, correspondiendo los retornos en cada intervalo de tiempo a una porción diferente de la fibra óptica. Dichos sensores de fibra óptica se denominan sensores distribuidos de fibra óptica ya que las opciones del sensor están completamente distribuidas por toda la fibra óptica. Tal como se utiliza en esta especificación, el término sensor de fibra óptica distribuido se entenderá como un sensor en el que la fibra óptica constituye el sensor y que no depende de la presencia de sensores de punto específicos o sitios de reflexión o interferencia deliberadamente introducidos, que es sensor de fibra óptica intrínseco

Se conocen varios tipos de sensores de fibra óptica distribuidos o sensores acústicos distribuidos (DAS) y se han propuesto para su uso en diversas aplicaciones.

La patente de los Estados Unidos No. 5,194,847 describe un sensor de fibra óptica acústica distribuido para la detección de intrusos. Se utiliza una fibra óptica continua sin sensores puntuales o sitios de reflexión específicos. Se lanza luz coherente a la fibra óptica y se detecta y analiza cualquier luz que sea retrodispersada por Rayleigh dentro de la fibra óptica. Un cambio en la luz retrodispersada en un contenedor de tiempo es indicativo de una onda acústica o de presión incidente en la porción relevante de fibra óptica. De esta forma, las perturbaciones acústicas pueden detectar cualquier porción de la fibra. La publicación de la solicitud de patente GB No. 2,442,745 describe un sistema de sensor de fibra óptica acústica distribuido en el que se detectan vibraciones acústicas lanzando una pluralidad de grupos de ondas electromagnéticas moduladas por impulsos en una fibra óptica estándar. La frecuencia de un pulso dentro de un grupo difiere de la frecuencia de otro pulso en el grupo. La retrodispersión de Rayleigh de la luz de sitios de reflexión intrínseca dentro de la fibra se muestrea y demodula a la diferencia de frecuencia entre los pulsos en un grupo.

La patente de Estados Unidos No. 6,380,534 describe un sistema distribuido de detección de temperatura y deformación de fibra óptica que analiza la distribución de frecuencia de dispersión inversa de Brillouin de la luz lanzada en la fibra para determinar la temperatura y deformación a lo largo de varias partes de la fibra de detección, que puede estar incorporada en una estructura.

El documento WO02/057805 describe el uso de sensores de temperatura, deformación y/o acústicos de fibra óptica distribuidos en una variedad de aplicaciones que incluyen parámetros de control de líneas de flujo en la industria del petróleo y el gas. El documento US20060028636 divulga un sistema de detección distribuida de acuerdo con el estado de la técnica. Por lo tanto, la detección de fibra óptica distribuida proporciona soluciones de detección útiles y convenientes que pueden controlar longitudes largas de fibra óptica con una buena resolución espacial. Por ejemplo, un sensor acústico de fibra óptica distribuido, como se puede utilizar para controlar un oleoducto, puede implementarse con porciones de detección de 10 m de longitud en 40 km o más de fibra óptica. Claramente, esto da como resultado 4000 canales acústicos separados que serían muy difíciles de controlar para un operador humano. Incluso con la detección automática de señales por encima de un umbral, la cantidad de datos puede ser abrumadora.

Es un objeto de la presente invención proporcionar métodos y aparatos para detección de fibra óptica distribuida que mitiguen el problema mencionado anteriormente y/o aumenten la utilidad y/o flexibilidad de los sistemas de detección de fibra óptica distribuidos.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método de detección distribuida que comprende las etapas de: interrogar a una fibra óptica con radiación electromagnética; detectar radiación electromagnética que se retrodispersa nuevamente desde la fibra óptica; procesar dicha radiación retrodispersada detectada para proporcionar una señal de medición para cada una de una pluralidad de porciones de detección longitudinales de la fibra óptica y analizar las señales de medición de las porciones de detección longitudinales para detectar eventos de interés donde el método comprende analizar las señales de medición de un primer subconjunto de porciones de detección longitudinales para proporcionar una primera zona que tiene una primera función de detección y analizar las señales de medición de al menos un segundo subconjunto de porciones de detección longitudinales para proporcionar al menos una segunda zona que tiene una segunda función de detección diferente.

El método de la presente invención interroga de este modo a una fibra óptica, detecta la radiación retrodispersada y procesa la radiación detectada en las cámaras de análisis, para proporcionar señales de medición correspondientes a una pluralidad de porciones de detección longitudinales de la fibra. El método también procesa las señales de medición para detectar eventos de interés, es decir, para detectar señales de medición que son características de los eventos de interés. El método de la presente invención identifica adicionalmente al menos un primer y un segundo subconjunto de las porciones de detección longitudinales para proporcionar zonas primera y segunda respectivas y analiza cada subconjunto para proporcionar una función de detección diferente. De esta forma, se puede utilizar una sola fibra de detección para proporcionar una pluralidad de diferentes funciones de detección en diferentes partes de la fibra. Esto puede mejorar la flexibilidad del sensor de fibra óptica distribuido, reducir las falsas alarmas y proporcionar una salida más inteligible y significativa a un operador para controlar el sistema del sensor, como se explicará con más detalle más adelante.

Las diferentes funciones de detección pueden comprender la detección de diferentes eventos. De este modo, las señales de medición de la primera zona pueden analizarse para detectar un primer evento de interés, mientras que las señales de la segunda zona pueden analizarse para detectar un segundo evento diferente de interés.

La detección de un evento de interés puede comprender identificar una característica predeterminada del evento en las señales de medición de una o más porciones de detección longitudinales de la fibra óptica. Por ejemplo, un sensor acústico de fibra óptica distribuido puede comparar las señales de medición, es decir, las señales acústicas detectadas, de cada porción de detección longitudinal, o grupos de porciones de detección longitudinales adyacentes, con una firma acústica de un evento de interés. Si la señal medida coincide con la firma acústica del evento particular de interés, esto puede tomarse como una detección del evento particular de interés.

El método de la presente invención puede por lo tanto implicar el análisis de las señales de medición de la primera zona para detectar una primera característica o firma y analizar las señales de medición de la segunda zona para detectar una segunda característica o firma.

El método por lo tanto permite que una parte de una fibra de detección se use para detectar un primer evento de interés y otra parte de la misma fibra de detección para detectar un segundo evento de interés. Al zonificar la fibra de detección de esta manera, la precisión de la detección puede mejorarse y la cantidad de información generada se procesa de manera más eficiente para proporcionar una salida más significativa y concisa.

Como ejemplo, supongamos que se despliega un sensor de fibra óptica acústica distribuido a lo largo de un perímetro o borde, parte del cual está protegido por una barrera tal como una pared sólida, pero parte de la cual está completamente abierta sin obstáculos físicos. El sensor comprende una sola fibra óptica desplegada a lo largo de ambas secciones del borde. El sensor puede estar dispuesto con una primera zona correspondiente a la parte de la fibra óptica cerca de la barrera y una segunda zona correspondiente a la parte de la fibra óptica que se extiende a lo largo del borde abierto. En la primera zona, las señales de medición pueden ser controladas para detectar eventos acústicos asociados con el sabotaje o la destrucción de la barrera. La segunda zona puede ser controlada para detectar el movimiento de un vehículo terrestre que cruza o se acerca al perímetro. Por lo tanto, aunque ambas zonas del sensor pueden realizar detección acústica, la primera zona se controla para detectar diferentes eventos acústicos en la segunda zona. Por lo tanto, el método de la presente invención proporciona la capacidad de realizar diferentes funciones de detección en diferentes partes de la fibra, según sea apropiado para el entorno particular.

El control y el procesamiento de los datos detectados de esta manera pueden ayudar a un operador y dar como resultado un control más eficaz y fiable del sistema. Cuando se detecta un evento de interés, el método puede comprender generar una alerta, que podría ser una o más de una alerta gráfica en una pantalla, una alarma audible, una alarma visible, el envío de un mensaje a un dispositivo remoto, por ejemplo, envío de una alerta de correo electrónico o mensaje de texto, etc. Por lo tanto, el operador del sistema solo puede responder a las alertas generadas.

En el ejemplo descrito anteriormente, supongamos que parte del perímetro que está protegido por la barrera se encuentra cerca de una carretera. El procesamiento de las señales de medición de toda la longitud de la fibra óptica para detectar vehículos terrestres puede conducir a muchas detecciones desde esta parte de la fibra óptica. En consecuencia, se puede generar una gran cantidad de alertas, la mayoría de las cuales serán falsas alarmas. Un gran número de falsas alarmas puede consumir mucho tiempo de un operador del sistema y/o potencialmente enmascarar

la presencia de una alarma real. Sin embargo, el método de la presente invención permite que cada zona se controle solo para eventos de interés que sean relevantes para esa zona. Por lo tanto, solo se genera una alerta para el evento de interés relevante, lo que alivia la carga de un operador y aumenta las posibilidades de que se note y actúe sobre la alerta.

5 Debe observarse que los subconjuntos de partes de detección longitudinales de la fibra óptica que comprenden cada una de las zonas no tienen necesariamente que comprender un conjunto de porciones de detección contigua. De este modo, la primera zona puede comprender dos o más grupos de porciones de detección longitudinales, con las partes de detección dentro de cada grupo siendo contiguas pero los grupos no siendo contiguos. Por ejemplo, volviendo al ejemplo descrito anteriormente, si la sección abierta del perímetro está rodeada en ambos lados por secciones
10 amuralladas del perímetro, la segunda zona puede corresponder a la sección de fibra óptica que se encuentra a lo largo de la parte abierta del perímetro y la primera zona puede corresponder al resto de la fibra óptica. Por lo tanto, la primera zona podría comprender las porciones de detección longitudinales de las secciones de fibra óptica en cualquier lado de la sección abierta. Alternativamente, la fibra óptica podría disponerse con una primera zona correspondiente a la primera sección amurallada del perímetro, una segunda zona correspondiente a las porciones de detección longitudinales de la fibra a lo largo de la parte abierta del perímetro y una tercera zona correspondiente a la otra sección amurallada de la pared perímetro. La primera y la tercera zonas pueden ser controladas para proporcionar la misma función de detección, con la segunda zona proporcionando una función de detección diferente. El método de la presente invención puede comprender, por lo tanto, identificar más de dos zonas, cada zona relacionada con un subconjunto diferente de porciones de detección longitudinales. Puede haber varias zonas diferentes, cada una de las
15 cuales tiene una función de detección diferente, aunque las señales de medición de al menos dos zonas diferentes pueden analizarse para proporcionar la misma función de detección.

Las funciones de detección pueden comprender detectar más de un evento de interés. Proporcionar diferentes funciones de detección en la primera zona y la segunda zona puede comprender, por lo tanto, detectar un primer conjunto de eventos de interés en la primera zona y detectar un segundo conjunto de eventos de interés en la segunda zona siendo el primer conjunto de eventos diferente del segundo conjunto de eventos. Los conjuntos primero y segundo pueden comprender eventos mutuamente excluyentes de interés, pero en algunas realizaciones el primer y segundo conjunto de eventos pueden comprender uno o más eventos comunes de interés. Por lo tanto, se pueden detectar uno o más eventos de interés comunes tanto en la primera como en la segunda zona. La función de detección diferente se proporciona en la primera y segunda zonas al detectar al menos un evento de interés en una de las zonas que no se detecta en la otra zona.
25

Por ejemplo, volviendo de nuevo al ejemplo discutido anteriormente, la primera zona de la fibra corresponde a una sección amurallada del perímetro y el conjunto de eventos de interés puede incluir la destrucción de la pared. La segunda zona de la fibra corresponde a una parte abierta del perímetro y el conjunto de eventos a detectar incluye vehículos terrestres que se aproximan o cruzan el perímetro. Sin embargo, en ambas zonas la detección de un evento de interés puede incluir la detección de una característica correspondiente al movimiento de personas. A lo largo de todo el perímetro, se puede desear controlar a un intruso a pie, ya sea que haya trepado la pared o cruzado la sección abierta del borde.
35

De este modo, puede detectarse el mismo evento de interés en más de una zona, pero el conjunto completo de eventos de interés varía entre la primera y la segunda zonas.

40 En algunas realizaciones, todos los eventos de interés de la segunda zona pueden ser eventos comunes de interés con la primera zona, pero la primera zona también detecta al menos un evento adicional de interés. En otras palabras, la función de detección de la segunda zona puede comprender detectar cualquiera de una serie de eventos de interés. Todos los mismos eventos de interés también pueden detectarse en la primera zona, pero la primera zona también detecta al menos un evento adicional de interés. Por lo tanto, volviendo al mismo ejemplo, en realidad se puede desear detectar vehículos que se aproximan a la sección amurallada del perímetro correspondiente a la primera zona. Por lo tanto, la función de detección de la primera zona comprende detectar vehículos, personas o destrucción o daño a la pared. La sección del borde correspondiente a la segunda zona no tiene pared, por lo que no es necesario detectar daños en la pared. Por lo tanto, la segunda función de detección comprende detectar vehículos terrestres y personas.
45

El conjunto de eventos de interés de la primera zona puede comprender así al menos un evento de interés que no sea relevante para la segunda zona. Sin embargo, como se describió anteriormente, puede ser útil para evitar detectar ciertos eventos, que de otra manera podrían ser eventos de interés, en áreas donde se puede generar una gran cantidad de alarmas falsas o innecesarias. El método puede comprender por lo tanto disponer la segunda zona para no detectar al menos un evento de interés que se detecta en la primera zona.
50

Por ejemplo, considere un sensor acústico de fibra óptica distribuido desplegado a lo largo de un oleoducto enterrado y dispuesto para controlar la interferencia con la tubería. Normalmente, toda la longitud del oleoducto puede ser controlada para detectar vehículos o personas en las cercanías del oleoducto y cualquier característica relacionada con la excavación o la construcción de túneles cerca del oleoducto. Sin embargo, en el caso de que se realicen algunos trabajos en terreno cerca del oleoducto, pero que no causen peligro a la tubería, se puede desear detener la detección
55

de características relacionadas con la excavación o el efecto túnel en esa vecindad para evitar una alarma constante. Por lo tanto, un subconjunto de partes de detección longitudinales de la fibra en la vecindad de las obras de tierra puede designarse como una zona, por ejemplo, la segunda zona, constituyendo las porciones de detección restantes de la fibra la primera zona. La detección de excavación o tunelización puede desactivarse en la segunda zona mientras dure el trabajo en tierra. Esto evita la presencia de una alarma constante, que aunque es una identificación correcta de excavación cerca del oleoducto, se sabe que no es una amenaza.

El método puede por lo tanto comprender la selección de un subconjunto de porciones de detección longitudinales de la fibra de al menos una de las zonas. La selección puede ser realizada por un operador a través de una interfaz y puede realizarse de varias maneras. Convenientemente, sin embargo, al menos un grupo de porciones de fibra contigua es definido por el usuario, y el o cada grupo asignado a una zona particular. Cualquier porción de fibra no definida o asignada de este modo puede asignarse automáticamente a una zona predeterminada. Un operador puede seleccionar grupos seleccionando una porción de fibra en una interfaz gráfica de usuario que incluye una representación de la fibra.

El método también puede implicar la asignación de una función de detección a al menos una zona seleccionando los eventos de interés que se van a detectar en esa zona. Esto puede incluir deseleccionar ciertos eventos de una lista predeterminada.

Los grupos de partes de detección seleccionadas por el operador pueden, en algunos casos, superponerse o un grupo seleccionado puede ser un subconjunto del grupo seleccionado previamente. Por ejemplo, un primer grupo de porciones de detección puede seleccionarse y asignarse a un primer conjunto de eventos de interés. Luego se puede seleccionar un segundo grupo de partes de detección que al menos parcialmente se solapa con el primer grupo, y se asigna un segundo conjunto de eventos de interés. Si hay al menos algunas áreas de cada grupo que no se superponen, esto define tres zonas, una primera zona correspondiente a las partes de detección que pertenecen al primer grupo solamente, una segunda zona correspondiente a las partes de detección que pertenecen al segundo grupo solo y una tercera zona correspondiente a esas partes de detección que pertenecen a ambos grupos. La primera zona detecta solo el primer conjunto de eventos de interés, la segunda zona el segundo conjunto de eventos de interés y la tercera zona detecta eventos de interés de ambos conjuntos.

El segundo grupo seleccionado puede ser un subconjunto del primer grupo que conduce a una de las zonas que efectivamente es una subzona de la otra zona.

La disposición de las zonas y la función de detección realizada por cada zona puede ser establecida por un operador. En algunas realizaciones, la función de detección y/o la activación o desactivación de zonas se puede variar automáticamente basándose en un intervalo de tiempo definido. Por ejemplo, si se despliega un sensor acústico de fibra distribuido a lo largo de un oleoducto para controlar la interferencia con la tubería, pero se lleva a cabo un mantenimiento planificado a lo largo de un tramo del oleoducto, la sección relevante del sensor puede configurarse como una zona que ignora la actividad de excavación. A esta zona se le puede dar una extensión de duración fija, sin embargo, en función de la duración esperada de las obras, después de lo cual volverá automáticamente a detectar todos los eventos de interés. Esto puede ayudar a evitar que se pase por alto la existencia de una zona con la pérdida de la función de detección deseada una vez que se complete el mantenimiento. Además, en algunas aplicaciones se pueden esperar alteraciones acústicas a intervalos regulares. Por ejemplo, las perturbaciones acústicas esperadas durante el día pueden variar a las esperadas durante la noche y, por lo tanto, se pueden establecer diferentes zonas para activar/desactivar a horas determinadas para proporcionar un control diferente durante el día y durante la noche.

Se debe observar que, aunque el método de la presente invención puede detectar, es decir, identificar y/o alertar sobre la aparición de un evento de interés, el proceso de detección puede comprender la clasificación o categorización de las señales de medición de acuerdo con las características o firmas de eventos que no son de interés. Por ejemplo, puede haber un conjunto de posibles eventos que pueden ocurrir en una zona particular y el conjunto de eventos de interés puede ser un subconjunto del conjunto de eventos posibles. Las señales de medición de la zona relevante se pueden comparar con las características de todos los eventos posibles para determinar si las señales coinciden con un evento particular. Las señales que se corresponden con la característica de un posible evento se pueden clasificar como generadas por ese evento. Si el evento en particular es un evento de interés, el método detecta que ha ocurrido el evento de interés y puede generar una alerta apropiada. Si el evento no es un evento de interés, las señales pueden ignorarse, aunque la clasificación puede registrarse para análisis futuros.

Por ejemplo, como se describió anteriormente, una zona puede estar dispuesta para no detectar un evento particular, tal como excavar o tunelizar cerca de un oleoducto, porque se sabe que el evento en cuestión se produce en las proximidades de esa zona. En esta situación, sin embargo, las señales de medición de la segunda zona aún pueden compararse con las características del evento en cuestión, es decir, excavación y tunelización. Si las señales de medición se clasifican como representando excavación o tunelización, se pueden ignorar de forma segura. Al identificar las señales de medición como generadas por un evento que no es de interés, la posibilidad de que se genere una falsa alarma por esas señales se confunde con un evento de interés, por ejemplo, enfoque de un vehículo terrestre, se puede reducir.

La des-selección de un evento de interés, es decir, establecer una zona para que un evento particular no se detecte para esa zona, representa un aspecto novedoso de la invención. También el uso de características de eventos que no son de interés en el análisis, para mejorar la detección de eventos que son de interés, representa otro aspecto de la presente invención.

5 En algunas realizaciones, puede haber algunos eventos que pueden ocurrir en una zona que no son apropiados para otra zona y, por lo tanto, el conjunto de posibles eventos para las zonas puede ser diferente. Por ejemplo, si un perímetro incluye un cuerpo de agua, una sola fibra puede ser enterrada en una parte terrestre del borde y también desplegada en el agua. Se puede establecer una primera zona correspondiente a las partes de la fibra en tierra y una
10 segunda zona puede corresponder a la parte de la fibra en el agua. La primera zona puede estar dispuesta para detectar intrusión basada en tierra y la segunda zona puede controlar intrusiones transmitidas por agua, por ejemplo, detección de señales características de motores fuera de borda o similares. La fibra puede no estar restringida dentro del agua y, por lo tanto, puede ser necesario clasificar varias señales de medición que se esperarían debido al movimiento de la fibra en el agua como señales que no son de interés. Al menos algunos de ellos podrían ser similares a las características de un evento de interés para las porciones terrestres de la fibra y, por lo tanto, en esta situación
15 los eventos que son relevantes para la segunda zona pueden no ser relevantes para la primera zona.

Las diferentes funciones de detección de las zonas primera y segunda también pueden comprender controlar las señales de las zonas para diferentes propósitos. Por ejemplo, aunque los ejemplos descritos anteriormente se refieren en general a la detección de intrusos o interferencia, los sensores de fibra óptica distribuidos también se pueden utilizar para el control del estado. Por ejemplo, un sensor acústico distribuido de fibra óptica puede ser desplegado a lo largo
20 de un oleoducto enterrado, tal como un oleoducto de petróleo o gas. Al menos parte de la fibra se puede utilizar para detectar posibles interferencias con la tubería como se describió anteriormente. Por lo tanto, la detección de señales acústicas correspondientes al movimiento de personas o vehículos en las proximidades del oleoducto, o especialmente asociadas con excavar o hacer un túnel, puede comprender eventos de interés a detectar. Sin embargo, la propia tubería puede generar o propagar señales acústicas que pueden utilizarse para el control del estado. Como se describe en la solicitud de patente en trámite PCT/GB2009/002058, las señales acústicas generadas, por ejemplo, por un impulso de presión que se mueve a lo largo del oleoducto o un objeto que se mueve a través del oleoducto, pueden utilizarse para proporcionar una indicación del estado del oleoducto. Por lo tanto, la función de detección de al menos una zona puede comprender control del estado. El control del estado puede comprender comparar la señal de medición de una o más porciones de detección longitudinales con una señal de medición previamente adquirida para detectar
25 cualquier cambio significativo. Las señales de medición utilizadas en el control del estado se pueden adquirir en respuesta a un estímulo particular, por ejemplo, un pulso de presión dentro de un oleoducto, y/o puede comprender las señales de medición de estado estacionario obtenidas en la operación de rutina del sensor. Las señales de medición usadas en el control del estado pueden integrarse o promediarse durante un período de tiempo o normalizarse de alguna manera y/o se pueden comparar con señales apropiadamente promediadas o normalizadas adquiridas previamente.
30
35

El control del estado y la detección de eventos de interés se pueden realizar simultáneamente en cualquier zona dada del sensor. Las señales de medición de la zona relevante se pueden analizar para detectar una característica de un evento de interés y también se pueden comparar con al menos una señal previamente adquirida para detectar cualquier cambio significativo. La capacidad de realizar el control del estado y la detección de eventos de interés
40 simultáneamente representa otro aspecto de la presente invención.

Por supuesto, la detección de un evento de interés puede estar relacionada con el control del estado, ya que una falla repentina o un cambio rápido en la condición de una estructura que se está supervisando puede dar lugar a una señal característica asociada que puede detectarse como un evento de interés. Por ejemplo, tomando el ejemplo de la supervisión de tuberías, una falla repentina significativa del oleoducto en un punto particular, como el inicio de una
45 fuga repentina, puede generar una señal característica. Esto puede detectarse como un evento de interés.

Otras funciones de detección pueden comprender el seguimiento de objetos, el control de parámetros de funcionamiento, el control sísmico, etc.

Como se describió anteriormente, las zonas primera y segunda corresponden a subconjuntos primero y segundo de porciones de detección longitudinal de la fibra óptica y en algunas realizaciones una zona puede definirse por un operador en uso seleccionando cualquier subconjunto de porciones de detección longitudinales. Sin embargo, en una
50 realización, el primer subconjunto de porciones de detección longitudinales corresponde a partes de la fibra óptica que tienen una primera disposición física y el segundo subconjunto de porciones de detección longitudinales corresponde a partes de la fibra óptica que tienen una segunda disposición física diferente. En otras palabras, las zonas primera y segunda comprenden secciones de la fibra óptica que tienen diferentes disposiciones físicas, es decir, la fibra óptica se despliega de una manera diferente en la primera zona a la segunda zona.
55

La disposición diferente puede comprender la geometría de la fibra. La geometría de la fibra en parte determina la función de detección que la fibra puede realizar.

La geometría de la fibra óptica puede disponerse para proporcionar una resolución espacial efectiva diferente en cada zona. Se entenderá que en un sensor de fibra óptica distribuido que se interroga mediante radiación pulsada, la resolución espacial de las porciones de detección longitudinales de la fibra puede depender típicamente de la duración del impulso de interrogación. Por ejemplo, en un sensor de fibra óptica acústica distribuido tal como se describe en el documento GB2.442.745, la longitud espacial de las porciones de detección longitudinales es de aproximadamente 12 m. Si la fibra óptica se despliega de manera tal que la fibra es relativamente recta, en longitudes de algunas decenas de metros, quedará claro que la resolución espacial efectiva del sensor será la misma que la resolución espacial de las partes de detección longitudinales, es decir, las porciones longitudinales de detección de 12 m de fibra óptica controlan las señales acústicas que inciden en un tramo de 12 m de largo del entorno. La resolución espacial del sensor puede variarse cambiando la radiación de interrogación, pero esto puede tener un efecto sobre la longitud de la fibra que puede controlarse.

Sin embargo, si la geometría de la fibra es tal que la fibra está dispuesta en una disposición curvada o plegada, por ejemplo, con una trayectoria helicoidal o enrollada o una trayectoria serpenteante, la resolución espacial efectiva del sensor puede reducirse en comparación con la resolución espacial nativa de la fibra. Por ejemplo, si la fibra óptica está dispuesta de manera que una longitud de 12 m de fibra óptica está contenida en una sección de tierra de 1 m, aunque la longitud de las porciones longitudinales de la fibra puede ser de 12 m, cada parte de detección solo recibe las señales acústicas incidentes de más de 1 m del medio ambiente. Por lo tanto, la resolución espacial efectiva del sensor con respecto al medio ambiente sería de 1 m.

De este modo, la geometría de la fibra en la primera zona y la segunda zona puede variar a fin de proporcionar al sensor una resolución espacial efectiva diferente en cada una de las zonas. Por ejemplo, en la primera zona, la fibra óptica puede desplegarse en una disposición generalmente recta o curvada suavemente (en escalas de longitudes de algunas decenas de metros) para proporcionar un sensor en el que la resolución espacial del sensor es igual a la resolución espacial de las porciones de detección longitudinales de la fibra. En una segunda zona, la fibra puede desplegarse en una disposición de tipo enrollada o plegada de manera que la resolución espacial efectiva del sensor sea más corta.

Por lo tanto, las diferentes funciones de detección en las zonas primera y segunda pueden comprender detección con una resolución espacial efectiva diferente en las zonas primera y segunda. Por lo tanto, la fibra óptica puede desplegarse para tener una geometría particular que varíe a lo largo de la trayectoria general de la fibra óptica a fin de proporcionar zonas diferentes que tengan una resolución espacial efectiva diferente. La disposición de una fibra óptica de un sensor de fibra óptica distribuida para proporcionar zonas que tienen diferente resolución espacial efectiva representa otro aspecto de la presente invención.

Las secciones con una resolución espacial efectiva más corta se pueden intercalar, periódicamente o aperiódicamente, con secciones de resolución espacial más larga para proporcionar un sensor que tiene una resolución espacial básica a lo largo de la longitud del sensor pero con secciones de resolución espacial más corta dispuestas a lo largo de la longitud del sensor. Alternativamente, la fibra óptica puede disponerse para proporcionar una resolución espacial más corta en ciertos puntos donde se desea una mejor resolución. De esta forma, se puede lograr un equilibrio entre la sensibilidad espacial y la longitud total. Claramente enrollar o plegar la fibra óptica para acortar la resolución espacial efectiva del sensor significa que se reducirá la longitud del sensor completo (para una longitud dada de fibra óptica).

La geometría de la fibra óptica se puede determinar cuando la fibra óptica se instala disponiendo la fibra óptica en la geometría deseada. La fibra óptica se despliega típicamente dentro de un cable de fibra óptica y, por lo tanto, el cable de fibra óptica se puede instalar en una disposición enrollada o plegada. Alternativamente, la fibra óptica podría disponerse dentro de un cable de fibra óptica con una geometría que varía a lo largo del cable, es decir, una sección de cable podría comprender una disposición de fibra óptica enrollada mientras que otra sección comprende la fibra óptica que se extiende recta a lo largo del cable. El cable en sí puede desplegarse en una ruta relativamente recta, aunque el cable en sí mismo puede enrollarse o doblarse más si es necesario.

En algunas realizaciones en las que la disposición física de la fibra proporciona una resolución espacial efectiva diferente, las señales de medición del primer subconjunto de partes de detección longitudinales pueden analizarse de la misma manera que las señales de medición del segundo subconjunto. Esto todavía puede proporcionar una primera zona que tiene una primera función de detección en una primera resolución espacial efectiva y una segunda zona que tiene una segunda función de detección en una segunda resolución espacial efectiva. Sin embargo, en algunas realizaciones, el primer y segundo subconjuntos de porciones de detección longitudinales pueden requerir o permitir un análisis diferente. El cambio en la resolución espacial efectiva significa que una característica que se detecta en una porción de detección longitudinal de señal a la resolución espacial más larga es detectable en más de una porción de detección longitudinal adyacente a la resolución espacial más corta. Por lo tanto, se pueden utilizar diferentes características de los eventos de interés en las diferentes zonas.

La geometría de la fibra óptica puede ser adicional o alternativa dispuesta para proporcionar funciones de detección adicionales en al menos una zona. Por ejemplo, la fibra óptica puede estar dispuesta en una zona para permitir determinar la dirección de incidencia de una perturbación de la fibra óptica. Como apreciará la persona experta, una

5 perturbación, tal como una onda acústica de propagación, puede detectarse mediante un sensor de fibra óptica distribuido apropiado. Sin embargo, utilizando una sola fibra óptica dispuesta a lo largo de una trayectoria relativamente recta, puede que no sea posible determinar la dirección de desplazamiento de la perturbación. Por lo tanto, en una zona, la geometría de la fibra puede disponerse para permitir que se determine la dirección de incidencia de la perturbación. La dirección de incidencia puede determinarse en una dimensión, es decir, desde qué lado del sensor se originó la perturbación, en un plano bidimensional o en tres dimensiones dependiendo de la disposición de la fibra. La geometría de la fibra en una zona puede disponerse de manera que la magnitud o intensidad de una perturbación se pueda resolver en sus componentes en dos o tres dimensiones.

10 La geometría de la fibra también puede ser tal que la fibra se enrolle sobre sí misma de modo que diferentes secciones de la fibra que no son adyacentes o están separadas entre sí a lo largo de la longitud de la fibra controlan sustancialmente la misma, o secciones adyacentes del entorno dentro del cual se despliega la fibra. Por ejemplo, considere un sensor acústico distribuido de fibra óptica utilizado como sensor perimetral. Se puede desplegar una gran longitud de fibra, como 40 km de largo, en una disposición enrollada alrededor del perímetro de un sitio. Por ejemplo, la fibra puede desplegarse para formar un primer bucle cerca de una cerca exterior, un segundo bucle dentro de una zona muerta entre la cerca exterior y una pared interior y en un tercer bucle cerca de la pared interior. Una persona que camina directamente desde la cerca exterior a la pared interior puede, por lo tanto, atravesar tres secciones diferentes de fibra. Por lo tanto, el método puede implicar identificar diferentes secciones de la fibra como zonas vinculadas de modo que la detección de un evento de marcha en la zona correspondiente a la detección de un evento de marcha en la zona vinculada correspondiente al terreno muerto se interprete como una sola detección. Vincular el procesamiento de esta manera puede reducir las falsas alarmas y mejorar la precisión de detección (por ejemplo, una alarma puede generarse solo si se detecta en las dos zonas vinculadas) pero también permite información como la velocidad y dirección del movimiento de la fuente acústica. rastreado

25 El método de la presente invención se puede utilizar con una variedad de sensores de fibra óptica distribuidos, pero en una realización preferida el sensor es un sensor de fibra óptica acústica distribuido, es decir, un sensor en el que las señales de medición corresponden a las señales acústicas. Por sensor acústico, en el contexto de esta solicitud de patente, se entiende un sensor que puede detectar la vibración mecánica del sensor de fibra u ondas de presión que inciden sobre la fibra a frecuencias relativamente altas. El sensor acústico de fibra óptica distribuido puede detectar y procesar la radiación retrodispersada de Rayleigh de la fibra óptica como señales de medición. El método puede comprender interrogar a la fibra óptica con radiación de interrogación y procesar la radiación retrodispersada detectada como se describe en GB2,442,745.

35 La etapa de analizar las señales de medición de las diversas zonas para proporcionar diferentes funciones de detección por lo tanto comprende preferiblemente utilizar el mismo tipo de señales de medición en cada zona, es decir, señales de medición que miden el mismo parámetro. Por lo tanto, para un sensor acústico de fibra óptica distribuido, las señales de medición que comprenden la información acústica, por ejemplo, la radiación retrodispersada de Rayleigh, se analizan en cada zona. El método de la presente invención por lo tanto puede proporcionar diferentes funciones de detección en un sensor de fibra óptica que proporciona solo detección acústica (es decir, vibración).

40 Por supuesto, en sensores de fibra óptica que pueden proporcionar diferentes detecciones para más de un parámetro, por ejemplo, tensión y temperatura, el método puede comprender proporcionar una primera función de detección para uno o más de los parámetros en la primera zona y una segunda función de detección para uno o más de los parámetros en la segunda zona.

Aunque el método se ha descrito en términos de interrogar a la fibra y procesar los datos adquiridos, no es necesario procesar los datos en la ubicación de la fuente óptica y el detector. Los datos podrían transmitirse a una ubicación remota para su procesamiento.

45 Por lo tanto, en otro aspecto de la invención se proporciona un método para procesar datos desde un sensor de fibra óptica distribuido que comprende las etapas de: tomar datos correspondientes a la radiación electromagnética detectada que se ha retrodispersado de nuevo desde una fibra óptica; procesar dichos datos para proporcionar una señal de medición para cada una de una pluralidad de porciones de detección longitudinales de la fibra óptica y analizar las señales de medición de las porciones de detección longitudinales para detectar eventos de interés donde el método comprende analizar las señales de medición de un primer subconjunto de porciones de detección para proporcionar una primera zona que tiene una primera función de detección y analizar las señales de medición de al menos un segundo subconjunto de porciones de detección longitudinales para proporcionar al menos una segunda zona que tiene una segunda función de detección diferente.

Este método de procesamiento puede utilizar todas las realizaciones descritas anteriormente con respecto al primer aspecto de la invención y también se beneficia de todas las mismas ventajas.

55 La invención también se refiere a un sensor de fibra óptica distribuido que tiene diferentes zonas que proporcionan diferentes funciones de detección. De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un aparato sensor de fibra óptica distribuido que comprende: una fibra óptica; una fuente de radiación electromagnética configurada para

lanzar radiación electromagnética en dicha fibra; un detector para detectar radiación electromagnética retrodispersada desde dicha fibra; y un procesador configurado para: analizar la radiación retrodispersada para determinar una señal de medición para una pluralidad de porciones discretas de detección longitudinal de la fibra óptica; en el que el sensor de fibra óptica distribuido comprende una primera zona que tiene una primera función de detección, la primera zona
 5 corresponde a un primer subconjunto de dichas porciones de detección longitudinal y al menos una segunda zona con una segunda función de detección diferente, la segunda zona corresponde a un segundo, diferente, subconjunto de dichas partes de detección longitudinales.

El aparato de este aspecto de la invención proporciona todas las mismas ventajas y puede implementarse en todas las mismas realizaciones que se describieron anteriormente con referencia a los otros aspectos de la invención.

10 En particular, el procesador puede configurarse para analizar las señales de medición de dicho primer subconjunto de porciones de detección longitudinales para proporcionar a dicha primera zona una primera función de detección y analizar las señales de medición de al menos dicho segundo subconjunto de porciones de detección longitudinales para proporcionar al menos dicha segunda zona tiene una segunda función de detección diferente.

15 Las diferentes funciones de detección pueden comprender la detección de diferentes eventos de interés. Como se describió anteriormente, las diferentes funciones de detección pueden comprender detectar un primer conjunto de eventos de interés en la primera zona y un segundo conjunto de eventos de interés en la segunda zona. El primero y el conjunto de eventos de interés pueden tener o no uno o eventos de interés en común. El primer conjunto de eventos de interés puede ser un subconjunto del segundo conjunto de eventos de interés o viceversa.

20 El procesador puede configurarse para clasificar las señales de medición en función de si coinciden con una o más características predeterminadas. Las características predeterminadas incluyen las características de los eventos de interés. Las características predeterminadas también pueden comprender las características de otros eventos, que no son eventos de interés. Como se describió anteriormente en relación con el método al hacer coincidir las señales de medición con las características predeterminadas de eventos probables, incluidos los eventos que no son de interés actualmente, el sensor puede identificar correctamente las señales generadas por un evento que no es de interés y
 25 así reducir falsas alarmas.

El aparato sensor preferiblemente comprende una pantalla gráfica. El procesador puede organizarse para generar una alerta gráfica en la pantalla cuando se detecta un evento de interés. La alerta gráfica puede comprender una alerta que se muestra en una representación de la ruta de la fibra óptica en la parte relevante de la ruta. La pantalla gráfica puede co-localizarse junto con el procesador y/o una pantalla gráfica puede comprender parte de una estación de
 30 control para el aparato sensor que está alejado del procesador. Por lo tanto, el procesador puede estar configurado para transmitir datos correspondientes a las señales de medición de las porciones de detección longitudinal y/o los resultados del análisis de dichas señales de medición a uno o más dispositivos remotos. Por ejemplo, el procesador puede generar una o más señales de alerta.

35 El método puede implicar generar diferentes niveles de alerta y/o alarma. El nivel de alerta puede variar en función del tipo de evento detectado, la duración o el evento, la intensidad del evento, un rango determinado para el evento y/o el movimiento de la fuente del evento. Por ejemplo, se puede generar una alerta codificada por color para que una alerta verde sea simplemente una alerta de información para confirmar una detección. Una alerta ámbar puede advertir de una posible amenaza y una alerta roja puede alertar sobre una amenaza que requiere acción. Los niveles más altos de alerta pueden incluir alarmas sonoras y/o generación de mensajes automáticos, por ejemplo, a un equipo de
 40 respuesta.

Convenientemente, el aparato está adaptado de manera que un usuario puede establecer una o más zonas para el aparato sensor en uso. En una realización, el aparato está adaptado de manera que un usuario puede seleccionar un subconjunto de porciones longitudinales de la fibra seleccionando una parte de la representación de la trayectoria de la fibra óptica o una representación de los canales de medición de la fibra óptica que se muestra en la pantalla gráfica.
 45 En otras palabras, el usuario puede ser capaz de configurar zonas del sensor seleccionando, por ejemplo, posicionando una ventana de selección sobre una representación de la ruta de la fibra óptica o una representación de los canales de medición del sensor.

La visualización gráfica puede ser configurable para mostrar un conjunto de eventos que pueden detectarse y el aparato puede adaptarse de modo que un usuario pueda seleccionar los eventos que se detectarán en una zona
 50 elegida.

La fibra óptica puede tener una primera disposición física en la primera zona y una segunda disposición física, que es diferente de la primera disposición física, en la segunda zona. La disposición física diferente en las zonas primera y segunda puede comprender una geometría de fibra diferente en cada zona. La geometría en cada zona puede proporcionar una resolución espacial efectiva diferente del sensor en cada zona como se describió anteriormente en
 55 relación con el método.

La geometría de la fibra óptica puede ser adicional o alternativa dispuesta para proporcionar funciones de detección adicionales en al menos una zona. Como se describió anteriormente, la fibra óptica puede disponerse en una zona para permitir determinar la dirección de incidencia de una perturbación de la fibra óptica y/o de tal forma que la magnitud o intensidad de una perturbación pueda resolverse en sus componentes en dos o tres dimensiones.

5 La fuente de radiación y el detector estarán ubicados en un extremo de la fibra óptica para lanzar radiación hacia la fibra y detectar la radiación retrodispersada desde la fibra óptica. El procesador puede estar ubicado con la fuente y el detector o puede estar ubicado de forma remota y puede recibir los datos del detector. En algunas realizaciones, un procesador puede estar ubicado en la fuente y el detector para hacer algún procesamiento inicial para poner los datos en una forma adecuada para la transmisión. También se puede realizar algún procesamiento en los datos para reducir la cantidad de datos que se transmitirán. Por ejemplo, los datos podrían procesarse para proporcionar las señales de medición de cada una de una pluralidad de partes de detección longitudinales antes de la transmisión.

15 En otro aspecto de la invención, por lo tanto, se proporciona un aparato procesador para tomar datos correspondientes a una señal de medición de la radiación retrodispersada detectada para cada una de una pluralidad de porciones de detección longitudinal de una fibra óptica y analizar las señales de medición de la porciones de detección longitudinales para detectar eventos de interés en el que el método comprende analizar las señales de medición de un primer subconjunto de porciones de detección longitudinales para proporcionar una primera zona que tiene una primera función de detección y analizar las señales de medición de al menos un segundo subconjunto de porciones de detección longitudinales para proporcionar al menos una segunda zona que tiene una segunda función de detección diferente.

20 El procesador puede tomar datos correspondientes a la radiación básica detectada que se retrodispersa de nuevo desde la fibra óptica y, por lo tanto, puede configurarse para procesar dicha radiación detectada para proporcionar la señal de medición en cada una de dichas porciones de detección longitudinales.

Este aspecto de la presente invención ofrece todas las mismas ventajas y puede utilizarse en todas las mismas realizaciones que se describieron anteriormente en relación con los otros aspectos de la invención.

25 La invención también proporciona un programa informático y un producto de programa informático para llevar a cabo cualquiera de los métodos descritos en este documento y/o para incorporar cualquiera de las características del aparato descritas aquí, y un medio legible por ordenador que tiene almacenado un programa para llevar a cabo cualquiera de los métodos descritos en este documento y/o para incorporar cualquiera de las características del aparato descritas aquí. Un ordenador adecuadamente programado puede controlar y obtener una fuente óptica y recibir datos de un detector óptico adecuado. El programa de ordenador puede estar incorporado en una señal de transmisión.

35 Como se describió anteriormente, diferentes zonas pueden estar formadas, en algunas realizaciones, por la disposición física de la fibra óptica. Por lo tanto, en otro aspecto de la invención se proporciona un sensor de fibra óptica distribuido que comprende una fibra óptica que tiene una primera disposición física en una primera zona para proporcionar una primera función de detección y una segunda disposición física diferente en una segunda zona para proporcionar una segunda función de detección.

40 Como se describió anteriormente, la disposición física puede comprender la geometría de la fibra. La fibra óptica puede disponerse para proporcionar una primera resolución espacial efectiva en la primera zona y una segunda resolución espacial efectiva en la segunda zona. La fibra óptica puede estar dispuesta en una zona para permitir que se determine la dirección de incidencia de una perturbación de la fibra óptica y/o que la magnitud o intensidad de una perturbación se pueda resolver en sus componentes en dos o tres dimensiones.

45 En general, la presente invención se refiere a un sensor de fibra óptica distribuido, especialmente a un sensor acústico distribuido, que realiza múltiples funciones de detección independientes usando la misma fibra. Las funciones de detección independientes pueden detectar diferentes eventos para el mismo propósito general, por ejemplo, detectar diferentes tipos de intrusión para fines de detección de intrusos, o puede comprender detección para diferentes propósitos, por ejemplo, tanto la detección de intrusos como el control del estado dicen que pueden realizarse simultáneamente. Proporcionar alertas/alarmas solo para los eventos de interés relevantes para una parte particular de la fibra óptica puede aliviar la carga de un operador y reducir la posibilidad de que se pierdan las alarmas genuinas. Poder designar una zona donde se ha detectado una alarma y detener efectivamente la detección de ese evento, en el sentido de generar una alarma, significa que solo se presentarán alarmas genuinas a un operador.

50 La invención se extiende a métodos, aparatos y/o uso sustancialmente como se describe aquí con referencia a los dibujos adjuntos.

Cualquier característica en un aspecto de la invención se puede aplicar a otros aspectos de la invención, en cualquier combinación apropiada. En particular, los aspectos del método se pueden aplicar a aspectos del aparato, y viceversa.

Además, las características implementadas en hardware pueden implementarse generalmente en software, y viceversa. Cualquier referencia a las características del software y el hardware en este documento debe interpretarse en consecuencia.

5 Las características preferidas de la presente invención se describirán ahora, puramente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

La Figura 1 ilustra los componentes básicos de un sensor de fibra óptica distribuido;

La Figura 2 ilustra parte de una trayectoria de una fibra de detección enterrada en el suelo a lo largo de parte de un borde y las partes discretas de detección de fibra;

La figura 3 ilustra parte de una trayectoria de una fibra de detección enterrada en el suelo junto a un oleoducto;

10 La figura 4 ilustra una fibra de detección que tiene diferentes geometrías en las diferentes zonas para proporcionar una resolución espacial efectiva diferente;

La Figura 5 muestra una geometría alternativa para proporcionar una resolución espacial diferente;

Las Figuras 6a y 6b muestran vistas en sección y en planta de una fibra enterrada en una geometría alternativa; y

La Figura 7 ilustra que diferentes zonas de la fibra pueden estar unidas mediante el despliegue de la fibra.

15 La Figura 1 muestra un esquema de una disposición de detección de fibra óptica distribuida. Una longitud de fibra 104 de detección está conectada en un extremo a un interrogador 106. La salida del interrogador 106 se pasa a un procesador 108 de señal, que puede ser co-localizar con el interrogador o puede ser remoto del mismo, y opcionalmente una interfaz de usuario/pantalla gráfica 110, que en la práctica puede ser realizada por una PC adecuadamente especificada. La interfaz de usuario puede ubicarse junto con el procesador de señal o puede estar remotamente alejada de la misma.

20 La fibra 104 de detección puede tener muchos kilómetros de longitud, y en este ejemplo tiene aproximadamente 40 km de longitud. La fibra de detección es una fibra óptica estándar, no modificada, de modo único, tal como se utiliza de manera rutinaria en aplicaciones de telecomunicaciones. En aplicaciones convencionales de sensores distribuidos de fibra óptica, la fibra de detección está al menos parcialmente contenida dentro de un medio que se desea controlar. Por ejemplo, la fibra 104 puede enterrarse en el suelo para proporcionar la supervisión de un perímetro o el control de un bien enterrado, tal como un oleoducto o similar.

25 La invención se describirá en relación con un sensor acústico distribuido, aunque el experto en la materia apreciará que la enseñanza puede aplicarse en general a cualquier tipo de sensor de fibra óptica distribuido.

30 En funcionamiento, el interrogador 106 lanza una radiación electromagnética de interrogación, que puede comprender, por ejemplo, una serie de pulsos ópticos que tienen un patrón de frecuencia seleccionado, en la fibra de detección. Los pulsos ópticos pueden tener un patrón de frecuencia como se describe en la publicación de patente británica GB2,442,745 cuyos contenidos se incorporan aquí como referencia. Como se describe en GB2,442,745 el fenómeno de la retrodispersión Rayleigh resulta en alguna fracción de la entrada de luz en la fibra que se refleja de vuelta al interrogador, donde se detecta para proporcionar una señal de salida que es representativa de las perturbaciones acústicas en la vecindad de la fibra. Por lo tanto, el interrogador comprende convenientemente al menos un láser 112 y al menos un modulador 114 óptico para producir una pluralidad de impulsos ópticos separados por una diferencia de frecuencia óptica conocida. El interrogador también comprende al menos un fotodetector 116 dispuesto para detectar la radiación que se retrodispersa desde los sitios intrínsecos de dispersión dentro de la fibra 104.

35 La señal del fotodetector es procesada por el procesador 108 de señal. El procesador de señal convenientemente demodula la señal devuelta basándose en la diferencia de frecuencia entre los pulsos ópticos tal como se describe en GB2,442,745. El procesador de señal también puede aplicar un algoritmo de desenrollamiento de fase como se describe en GB2,442,745.

40 La forma de la entrada óptica y el método de detección permiten que una única fibra continua se resuelva espacialmente en porciones de detección longitudinales discretas. Es decir, la señal acústica detectada en una parte de detección puede proporcionarse de forma sustancialmente independiente de la señal detectada en una parte adyacente. La resolución espacial de las partes de detección de fibra óptica puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 10 m, que para una longitud de 40 km de fibra da como resultado que la salida del interrogador adopte la forma de 4000 canales de datos independientes.

De esta forma, la fibra de detección única puede proporcionar datos detectados que son análogos a una matriz multiplexada de sensores independientes adyacentes, dispuestos en una trayectoria lineal.

La Figura 2 ilustra parte de la fibra de detección dispuestos a lo largo de la trayectoria de un perímetro o borde 204. Como se muestra en la Figura 2 la fibra de detección puede estar dispuesto en una trayectoria generalmente recta a lo largo de la línea de la frontera 204. Las divisiones 208 representan la separación de las porciones de detección longitudinales de la fibra (no a ninguna escala particular).

En una realización, diferentes subconjuntos de las porciones de detección longitudinales de la fibra están dispuestos para proporcionar diferentes zonas con diferentes funciones de detección. Por lo tanto, las zonas corresponden a secciones de la fibra de detección y la función de detección se puede elegir para que coincida con la función de detección requerida en esa parte de la fibra de detección.

Por ejemplo, como se muestra en la Figura 2, la fibra de detección se despliega justo dentro del perímetro con una trayectoria que localmente es paralela al perímetro. Parte del perímetro 204 está protegido por una pared 202, sin embargo, otra parte del perímetro está abierta sin barrera de paso a través del perímetro o al menos sin barrera que representaría un impedimento significativo para cruzar el perímetro. En la sección abierta del perímetro, por lo tanto, puede desearse detectar el movimiento de vehículos terrestres y/o personas en las proximidades del perímetro.

En la sección del perímetro que está protegida por la pared 202, la detección de un vehículo terrestre cerca del perímetro puede ser interesante ya que podría indicar actividades sospechosas. Sin embargo, se puede suponer que ningún vehículo terrestre puede cruzar el perímetro en este punto sin demoler la pared. Si parte de esta sección del perímetro está ubicada cerca de una vía pública, indique que la detección de vehículos terrestres puede generar la generación de varios falsos positivos.

Por lo tanto, en una realización de la presente invención, el subconjunto de porciones de detección longitudinales correspondientes a la sección de fibra de detección desplegada a lo largo del tramo abierto del perímetro se designa como una zona. Esto se ilustra en la Figura 2 como la sección 206b.

Las señales de la zona 206b se analizan por lo tanto para detectar cualquier vehículo que se aproxime o cruce la fibra de detección y que también detecte a cualquier persona que camine cerca o cruzando la fibra detectora.

Esto se puede lograr controlando las señales acústicas de las partes de detección relevantes de la fibra de detección para señales acústicas que son características del movimiento de vehículos o personal en las proximidades de la fibra. Como el experto en la materia sabrá, el análisis de firmas acústicas puede realizarse para detectar firmas acústicas que sean representativas de vehículos terrestres, o varios tipos de vehículos terrestres y también firmas acústicas que sean representativas del movimiento de personas a pie. El análisis de firma acústica puede comprender analizar la evolución de la señal desde una porción de detección longitudinal de la fibra contra una firma conocida. En algunas realizaciones, las señales de más de una porción de detección adyacente de fibra se pueden analizar juntas para detectar una característica particular.

Las señales de las secciones longitudinales de fibra correspondientes a la sección amurallada del perímetro a cada lado de la parte abierta, es decir, los subconjuntos 206a y 206c comprenden otra zona. Por lo tanto, se apreciará que una zona de la fibra puede comprender múltiples secciones no contiguas de la fibra y que una zona puede, en efecto, ser una subzona de otra zona. Sin embargo, en la práctica puede ser más fácil analizar las señales de la sección 206a como una zona y las señales de la sección 206c como otra zona, pero aplica la misma función de detección a cada una de estas zonas.

Las señales de las secciones 206a y 206c pueden, por lo tanto, analizarse para detectar daños a la pared 202, por ejemplo, señales acústicas características de martilleo, perforación o golpeteo de la pared usando análisis de firma acústica. Además, las señales podrían controlarse para señales particularmente intensas que podrían ser indicativas de una colisión con la pared o una explosión en la pared.

Las señales de la(s) zona(s) correspondiente(s) a las secciones 206a y 206c de la fibra de detección pueden por lo tanto analizarse para detectar eventos de interés, es decir, señales acústicas que coinciden con las características predeterminadas de eventos que se desea detectar, y las señales de la sección 206b se pueden analizar para detectar diferentes eventos de interés.

Sin embargo, también se puede desear detectar el movimiento de personas en la sección amurallada del perímetro para detectar personas que han escalado la pared. Por lo tanto, las señales de la sección 206a y 206c también se pueden analizar para detectar señales acústicas características del movimiento de personas que utilizan el mismo análisis de firmas para la detección de personas que se utiliza en la sección 206b.

La fibra de detección puede por lo tanto dividirse en una pluralidad de zonas diferentes y solo pueden detectarse los eventos que son relevantes para la sección particular de la fibra.

Como otro ejemplo, la figura 3 ilustra parte de la trayectoria de una fibra 104 de detección que está enterrada junto a un oleoducto enterrado, tal como un oleoducto de petróleo y gas. La fibra de detección se puede utilizar para controlar posibles interferencias con la tubería. Por lo tanto, la fibra de detección puede controlarse para detectar las características acústicas asociadas con la excavación o el efecto túnel cerca del oleoducto. Además, las señales pueden ser controladas para detectar las características asociadas con el movimiento de personas y/o vehículos cerca del oleoducto ya que, en áreas despobladas, el movimiento de personas o vehículos cerca del oleoducto puede ser indicativo de interferencia potencial. Sin embargo, un camino 302 cruza la tubería en una parte de su longitud. Por lo tanto, el movimiento vehicular se espera en las proximidades de la carretera y la detección del movimiento de los vehículos en esta parte del oleoducto puede generar numerosas falsas alarmas. En una realización de la presente invención, por lo tanto, una sección de la fibra de detección en la ubicación de la carretera se designa como una zona separada 306a. Dentro de esta zona 306a, la presencia o movimiento de vehículos no se detecta como un evento de interés. Las señales de las porciones de detección longitudinal de fibra dentro de esta zona no se analizan para detectar vehículos. Estas señales se analizan para detectar cualquier característica indicativa de excavación o efecto túnel en las proximidades del oleoducto.

Las señales de las partes de detección longitudinales de la sección 306a aún pueden analizarse usando un análisis de firma acústica que incluye la firma acústica de vehículos terrestres para clasificar correctamente cualquier señal. En otras palabras, si se detectan señales acústicas que se corresponden bien con la firma acústica de un vehículo en movimiento, las señales pueden clasificarse como tales e ignorarse. De esta forma, todas las señales de medición pueden identificarse cuando sea posible y la identificación utilizada en la detección de eventos de interés. Al identificar que las señales están siendo generadas por un evento que no es de interés para esa zona, se pueden evitar las detecciones falsas.

En funcionamiento, por lo tanto, la radiación retrodispersada procedente de la fibra de detección puede procesarse para proporcionar señales de medición desde cada porción de detección longitudinal de la fibra. El histograma 310 representativo ilustra el tipo de datos que pueden recogerse y muestra la intensidad media de la perturbación acústica medida por cada porción de detección longitudinal de un corto período de tiempo. El eje x representa la distancia a lo largo de la fibra. El cambio en la intensidad a lo largo del tiempo puede analizarse automáticamente para detectar eventos de interés como se describió anteriormente.

Si se detecta un evento de interés, se puede generar una alarma o alerta. Por ejemplo, se puede generar una alerta audible y/o visible en una o en las estaciones de control. La alerta visible puede mostrar la naturaleza del evento identificado y la ubicación del evento detectado a lo largo de la fibra. En una realización, se muestra un icono de alerta, que puede ser relevante para el evento detectado, en la ubicación correcta en un mapa del oleoducto/fibra.

Por ejemplo, considere que la función de detección predeterminada de todas las secciones de la fibra es detectar la excavación o el efecto túnel cerca del oleoducto como un evento crítico y también para detectar la presencia de vehículos o personas cerca del oleoducto. La sección de fibra 306a cerca de la carretera se ha dispuesto como una zona separada, sin embargo, donde la detección de vehículos se desactiva para evitar falsas alarmas.

Supongamos que parte de la excavación comienza en la ubicación 308. Esto provocará que las vibraciones acústicas pasen a través del suelo, lo que provocará la vibración de la fibra de detección en las proximidades de la excavación. Estas vibraciones aumentarán la intensidad de las perturbaciones acústicas medidas en esa parte de la fibra, como se ilustra en el histograma 310. Las señales de esta parte de la fibra se analizan mediante análisis de firma acústica y las señales se identifican como características coincidentes asociadas con la excavación mecánica. En este punto, el procesador se comunica con la estación de control y se genera una alarma. Se escucha una alarma audible para llamar la atención del operador y los detalles de la naturaleza de la alarma se muestran en la pantalla gráfica. Esto incluye una identificación del tipo de evento de interés, es decir, la excavación y la posición detectada. Una alerta automática también se puede enviar a una unidad de patrulla. El operador puede verificar si hay obras programadas en ese lugar y/o enviar una patrulla para investigar.

Si la excavación resulta ser benigna, es decir, las excavadoras tienen los permisos apropiados, están excavando a una distancia segura del oleoducto y/o conocen la ubicación del oleoducto, se puede permitir que el trabajo continúe. En este punto, es posible que desee eliminar la alarma de esa sección del oleoducto para evitar alarmas innecesarias que puedan enmascarar la presencia de una nueva alarma genuina.

Por lo tanto, el operador puede seleccionar una porción de fibra 306b que rodea el evento detectado y designarla como otra zona. Una vez que se ha establecido la zona 306b, el operador puede seleccionar los eventos de interés a detectar y puede anular la selección de la detección de excavación dentro de esa zona. La duración de la zona puede ser de tiempo limitado. Por ejemplo, la zona solo puede durar la duración esperada de las obras. Además, la zona se puede organizar para que se aplique durante las horas de trabajo diurnas solamente, dependiendo de la naturaleza de las obras que se lleven a cabo. Por lo tanto, la zona puede persistir durante las horas normales de trabajo. Una vez

que llega la noche, la zona 306b deja de ser una zona separada y se vuelve a aplicar la función de detección predeterminada. Sin embargo, al comienzo del día siguiente, la zona 306b con la función de detección designada se volverá a aplicar automáticamente.

5 Por lo tanto, las zonas pueden ser designadas por un operador a través de una interfaz de usuario. Se puede presentar a un usuario una indicación gráfica de las partes de detección del sensor de fibra y puede ser capaz de seleccionar cualquier grupo o grupos de partes de detección para designar como una zona. El operador puede entonces seleccionar o anular la selección de eventos de interés de una lista maestra que se aplica a los grupos seleccionados de partes de detección.

10 En otra realización, sin embargo, se puede crear una zona mediante la disposición de la fibra de detección dentro de esa zona.

15 La figura 4 ilustra una fibra 104 de detección que está dispuesta en una primera zona 406a que tiene una primera geometría y una segunda zona 406b que tiene una segunda geometría. En la primera zona, la fibra se tiende completamente extendida en una trayectoria generalmente recta o suavemente curva, al menos en comparación con la escala de longitud de las porciones de detección longitudinales. La figura 4 representa la longitud 402a de fibra que corresponde a una sola porción de detección longitudinal de fibra.

20 La longitud de las porciones de detección longitudinales está determinada por las características de la radiación de interrogación y el procesamiento, pero en general la longitud más pequeña de fibra que puede resolverse como una porción de detección independiente está relacionada con la duración del pulso de interrogación. Por lo tanto, un impulso más largo da como resultado una longitud más larga de la parte de detección y un impulso de duración más corta da como resultado una longitud más corta de la parte de detección. La duración del pulso de interrogación también tiene un efecto sobre el rango global del sistema, es decir, la longitud de la fibra continua que puede ser interrogada. Como apreciará el experto en la materia, el alcance depende de la cantidad de luz que se transmite a la fibra. Para un sensor acústico distribuido de dispersión trasera de Rayleigh, sin embargo, el pulso de interrogación debe estar por debajo del umbral no lineal para la fibra óptica. Por lo tanto, pone un límite a la intensidad instantánea máxima que puede transmitirse a la fibra óptica. Por lo tanto, para alcanzar un cierto rango, se requiere una cierta duración del pulso que establece efectivamente la longitud espacial mínima de la fibra que se puede resolver por separado. Como ejemplo, se puede controlar una longitud de 40 km de fibra óptica con una longitud espacial de las porciones de detección de 10 m.

30 La realización mostrada en la figura 4 varía la resolución espacial efectiva del sensor en las dos zonas mediante la variación de la geometría de la fibra. Como se mencionó anteriormente en la primera zona, la fibra se tiende completamente extendida. Por lo tanto, la resolución espacial efectiva del sensor es la misma que la resolución espacial de las porciones de detección longitudinales. Sin embargo, en la segunda zona, la fibra óptica tiene un eje que se extiende en general, pero tiene una trayectoria serpenteante con respecto a tal eje, de manera que cada 1 m a lo largo del eje comprende una longitud de fibra óptica de más de 1 m. La figura 4 ilustra la longitud 402b a lo largo del eje que corresponde a una sección de fibra igual a la longitud de una porción de detección longitudinal. Por lo tanto, quedará claro que cada porción de detección individual de fibra en la segunda zona recibe señales acústicas de una longitud de ambiente mucho más corta que las de la primera zona. La resolución espacial efectiva del sensor es, por lo tanto, acortada, es decir, puede verse que el sensor en su conjunto tiene porciones de detección que se extienden a lo largo del eje del sensor y que son de longitud más corta que las partes de detección discretas de la fibra.

45 El meandro podría lograrse cuando la fibra de detección está instalada. Como la persona experta apreciará que la fibra óptica de detección, que comprende un núcleo y un revestimiento, puede comprender un cable de fibra óptica con una camisa protectora. El cable puede comprender una o más fibras ópticas. El cable en sí puede estar dispuesto en un camino serpenteante deseado alrededor de un eje general cuando se despliega. Dependiendo del grado máximo de curvatura que sea aceptable para la fibra o el cable óptico particular, podrían utilizarse diversos grados diferentes de meandro. Por ejemplo, un meandro con una amplitud transversal de aproximadamente 50 cm y un paso de aproximadamente 10 cm significaría que 10 m de fibra óptica se extenderían aproximadamente 1 m a lo largo de la trayectoria del sensor.

50 Sin embargo, son posibles otras disposiciones. Por ejemplo, la fibra óptica en al menos una zona puede tener una geometría de tipo helicoidal o helicoidal. La figura 5 muestra una primera sección 502a en la que la fibra está completamente extendida y una segunda sección 502b donde la fibra se enrolla en una estructura helicoidal alrededor del eje del sensor. El enrollamiento de la fibra podría permitir que una longitud relativamente larga de fibra se coloque en una longitud espacial corta sin una gran extensión transversal. Por ejemplo, en comparación con el camino serpenteante, una hélice con un diámetro de poco más de 30 cm y un paso de 10 cm podría comprimir 10 m de fibra dentro de 1 m de la longitud del sensor. Incluso bobinas más apretadas pueden permitir que la bobina forme parte del cable. Por ejemplo, una fibra podría enrollarse con un diámetro de 5 cm y un paso de leva de 1.5 dentro de un cable. En este caso, se colocarían 10 m de fibra óptica con 1 m de cable. El cable podría desplegarse fácilmente a lo largo

de la trayectoria deseada del sensor como cualquier otro tipo de cable y no se necesitaría ninguna disposición especial en la instalación del cable.

Sin embargo, es evidente que la disposición de la fibra óptica para su uso como fibra de detección en un sensor acústico distribuido no debe restringir la capacidad de la fibra para reaccionar a las ondas acústicas y a las vibraciones. El experto en la materia entendería fácilmente cómo se podría desplegar el cable y/o podría probar fácilmente la respuesta de la fibra en geometrías posibles.

La disposición de la fibra óptica también puede ser tal que proporcione una funcionalidad de sensor adicional, tal como la capacidad de determinar la dirección de incidencia de una onda acústica entrante en una o más dimensiones.

Las Figuras 6a y 6b muestran un ejemplo en el que la fibra óptica está dispuesta para tener dos porciones de detección paralelas separadas a lo largo de la dirección horizontal para permitir la determinación de la dirección de incidencia de una onda acústica. La figura 6a muestra una vista en planta de la disposición de cables y la figura 6b muestra una vista en sección a lo largo de la línea A-A. El cable tiene una disposición en forma de Z con una primera sección recta 602a que se extiende por al menos la longitud de una porción de detección longitudinal en una primera dirección paralela a una segunda sección recta 602c que también es al menos la longitud de una porción de detección longitudinal. Estas dos secciones paralelas están separadas a una corta distancia de separación y se solapan total o parcialmente en la primera dirección. La conexión de las dos secciones es una sección 602c en ángulo.

Al utilizar las señales acústicas recibidas en la sección 602a y las señales acústicas recibidas en la sección 602b, la dirección de incidencia de las señales acústicas (perpendiculares a las secciones 602a y 602b) puede determinarse identificando una respuesta debido al mismo impulso acústico en ambas secciones de fibra y mirando los tiempos relativos de llegada de la señal a esa parte de la fibra. La sección 602c de fibra puede utilizarse como una porción de detección o los rendimientos de esta sección de fibra pueden ignorarse.

Se podrían utilizar otras geometrías para permitir que se determine la dirección de incidencia. Una geometría que tiene tres porciones de detección paralelas separadas en dos dimensiones permitiría determinar el punto de origen en un plano perpendicular a las partes de detección.

Haciendo referencia de nuevo a las realizaciones de la Figura 3 de la presente invención también permite la detección para diferentes propósitos. Como se describió anteriormente, una fibra de detección desplegada a lo largo del oleoducto puede utilizarse para detectar una posible interferencia con la tubería. Al mismo tiempo, sin embargo, la fibra también se puede utilizar para controlar el estado del oleoducto en sí. La solicitud de patente en trámite PCT/GB2009/002058, cuyos contenidos se incorporan aquí como referencia, describe cómo se puede utilizar una fibra acústica distribuida para controlar el estado del conducto, tal como un oleoducto, excitando acústicamente la tubería y registrando la respuesta de cada porción de detección de la fibra. Esta respuesta se puede comparar con una respuesta de referencia previa para detectar cualquier cambio significativo. Los cambios significativos a lo largo del oleoducto podrían ser indicativos de la descomposición del oleoducto o la acumulación de depósitos en la línea de flujo. La tubería puede ser excitada por un dispositivo que genere ondas acústicas y/o una señal de oportunidad, como la causada por el paso de un cerdo a través del oleoducto, podría ser utilizada. Alternativamente, la respuesta de las secciones de fibra de detección a lo largo del oleoducto podría ser controlada en base al ruido acústico ambiental y comparada con señales de referencia adquiridas previamente para detectar cualquier cambio significativo.

En algunas realizaciones, el control del estado solo puede ser apropiada a lo largo de parte de la longitud de la fibra de detección y así el sensor puede dividirse en una zona donde se realiza el control del estado y otra zona donde el control del estado no es relevante.

Cuando se detectan eventos de interés para la zona relevante, se puede generar una alarma o alerta. Puede haber diferentes tipos de alertas para diferentes tipos o severidad de eventos detectados y las alertas pueden clasificarse en términos de gravedad. Por ejemplo, considere una aplicación de control de tuberías en la cual el sensor está adaptado para proporcionar control de condición y también detección de interferencia. La detección de una firma acústica correspondiente a personas que caminan cerca del oleoducto puede ser de interés, pero no demasiado importante por sí misma. Por lo tanto, la detección de personal puede generar una alerta de bajo nivel, por ejemplo, un icono de advertencia puede aparecer en una indicación gráfica de la sección pertinente del oleoducto. Este tipo de advertencia puede tener un código de color y, por ejemplo, puede ser verde para indicar solo una detección. La detección de una señal que es indicativa de un vehículo en una sección donde no se espera un vehículo puede ser más severa, sin embargo, ya que esto puede ser más indicativo de interferencia potencial. Por lo tanto, tal detección y puede conducir a un estado de alerta más alto, por ejemplo, una advertencia de color ámbar posiblemente acompañada de una alerta audible. La detección de una firma correspondiente a la excavación puede generar una alerta de estado alto, aunque en este caso el estado de la alerta puede depender de la duración e intensidad (o, si corresponde, rango detectado) del evento. Si la señal solo dura un período de tiempo muy corto o es de baja intensidad, puede que no sea una preocupación y solo se puede marcar como una detección. Sin embargo, una señal prolongada e intensa puede generar una alerta completa que puede implicar hacer sonar una advertencia audible y generar un mensaje automático a una unidad de respuesta.

La geometría de la fibra también puede ser tal que se puedan unir diferentes zonas de la fibra. Por ejemplo, la Figura 7 ilustra una única fibra 104 desplegada para proporcionar diferentes capas de control del perímetro. La fibra 104 se despliega con tres bucles. Por ejemplo, un bucle externo puede disponerse fuera de una cerca perimetral, por ejemplo, para proporcionar detección de personal o vehículos. Se puede proporcionar un bucle medio adyacente a una cerca perimetral o similar para detectar daños a la cerca y se puede proporcionar un bucle interno dentro de la cerca perimetral para detectar movimiento dentro del perímetro. Por lo tanto, cada bucle de la fibra se puede designar como una zona separada que tiene funciones de detección ligeramente diferentes. En todos los casos, sin embargo, se puede desear detectar el movimiento de personas. En este caso, el hecho de que diferentes secciones de la fibra estén dispuestas cerca de la misma sección del perímetro se puede utilizar para proporcionar una mayor funcionalidad. Por ejemplo, las porciones de detección de fibra del bucle externo que forman el grupo 701 pueden estar unidas con las porciones de detección de la fibra 702 del bucle medio que corresponden a la misma sección del perímetro y asimismo las partes 703 del bucle interno que corresponden a la misma sección del perímetro. Si se detecta el mismo tipo de evento acústico en las zonas vinculadas en secuencia, estas detecciones individuales pueden clasificarse como pertenecientes a un único evento. Por ejemplo, una persona que se aproxima a lo largo de la ruta 704 será detectada sucesivamente por las zonas 701, 702 y luego 703. Comparando las señales detectadas de estas zonas, las detecciones individuales de las tres zonas vinculadas pueden identificarse como pertenecientes al mismo evento. Esto puede permitir, por ejemplo, rastrear la velocidad y la dirección del movimiento, pero también aclara que la fuente de la perturbación dentro del perímetro detectado por la zona 703 originalmente comenzó fuera del perímetro y de alguna manera ha sobrepasado la valla perimetral.

Se comprenderá que la presente invención se ha descrito anteriormente puramente a modo de ejemplo, y se puede hacer una modificación de los detalles dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, un solo procesador u otra unidad puede cumplir las funciones de varias unidades o subunidades mencionadas en las reivindicaciones.

También se observará que cada característica divulgada en la descripción, y (cuando sea apropiado) las reivindicaciones y los dibujos se pueden proporcionar independientemente o en cualquier combinación apropiada.

REIVINDICACIONES

1. Un método de detección distribuida que comprende las etapas de:
interrogar a una fibra (104) óptica con radiación electromagnética;
detectar radiación electromagnética que se dispersa nuevamente desde la fibra óptica;
- 5 procesar dicha radiación retrodispersada detectada para proporcionar una señal de medición para cada una de una pluralidad de porciones (208) de detección longitudinales de la fibra óptica; y
analizar las señales de medición de las porciones de detección longitudinales para detectar eventos de interés, en el que el método comprende
- 10 analizar las señales de medición de un primer subconjunto de porciones de detección longitudinales para proporcionar una primera zona (206a; 306a) que tiene una primera función de detección y analizar las señales de medición de al menos un segundo subconjunto de porciones de detección longitudinales para proporcionar al menos una segunda zona (206b; 306b) que tiene una segunda función de detección diferente;
- 15 caracterizado porque el método comprende analizar las señales de medición de la primera zona para detectar una primera característica o firma y analizar las señales de medición de la segunda zona para detectar una segunda característica o firma.
2. Un método como se reivindica en la reivindicación 1, en el que al menos una de la primera zona o segunda zona comprende dos o más grupos de porciones de detección longitudinales, en donde las porciones de detección dentro de cada uno de dichos grupos son contiguas pero los grupos no son contiguos.
3. Un método como se reivindica en cualquier reivindicación precedente que comprende identificar más de dos zonas, cada zona relacionada con un subconjunto diferente de porciones de detección longitudinales.
- 20 4. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que proporcionar diferentes funciones de detección en la primera zona y segunda zona comprende detectar un primer conjunto de eventos de interés en la primera zona y detectar un segundo conjunto de eventos de interés en la segunda zona, con el primer conjunto de eventos es diferente al segundo conjunto de eventos.
- 25 5. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes que comprende la etapa de seleccionar un subconjunto de porciones de detección longitudinales de la fibra para formar al menos una de las zonas en donde la etapa de seleccionar un subconjunto de porciones de detección longitudinales comprende seleccionar una porción de fibra en una pantalla gráfica que muestra una representación de la fibra.
- 30 6. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende la etapa de asignar una función de detección a al menos una zona seleccionando los eventos de interés que deben detectarse en esa zona.
7. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de analizar dichas señales de medición comprende clasificar y/o categorizar las señales de medición de acuerdo con las características de los eventos que no son de interés.
- 35 8. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el primer subconjunto de porciones de detección longitudinales corresponde a partes de la fibra óptica que tienen una primera disposición física y el segundo subconjunto de porciones de detección longitudinales corresponde a partes de la fibra óptica que tienen un segundo, diferente arreglo físico
- 40 9. Un método como se reivindica en la reivindicación 8, en el que la primera disposición física comprende una primera geometría de la fibra y la segunda disposición física comprende una segunda geometría de la fibra en la que la primera geometría proporciona una primera resolución espacial efectiva en la primera zona y la segunda la geometría proporciona una segunda resolución espacial efectiva diferente en la segunda zona.
- 45 10. Un método como se reivindica en cualquier reivindicación precedente, en el que las diferentes funciones de detección en la primera y segunda zonas comprenden la detección con una resolución espacial efectiva diferente en la primera y segunda zonas.

11. Un método como se reivindica en se reivindica en cualquier reivindicación anterior que comprende un método de detección acústica distribuida.

12. Un aparato sensor de fibra óptica distribuido que comprende:

una fibra óptica (104);

5 una fuente de radiación electromagnética (112, 114) configurada para lanzar radiación electromagnética en dicha fibra;

un detector (116) para detectar radiación electromagnética retrodispersada desde dicha fibra; y

un procesador (108) configurado para:

10 analizar la radiación retrodispersada para determinar una señal de medición para una pluralidad de porciones discretas de detección longitudinal de la fibra óptica; en el que el sensor de fibra óptica distribuido comprende una primera zona que tiene una primera función de detección, la primera zona corresponde a un primer subconjunto de dichas porciones de detección longitudinal y al menos una segunda zona con una segunda función de detección diferente, la segunda zona corresponde a un segundo, diferente, subconjunto de dichas porciones de detección longitudinales;

15 caracterizado porque dicho procesador está configurado para analizar las señales de medición de la primera zona para detectar una primera característica o firma y para analizar las señales de medición de la segunda zona para detectar una segunda característica o firma.

13. Un aparato sensor de fibra distribuido como se reivindica en la reivindicación 12, en el que el aparato está adaptado de forma tal que un usuario puede establecer una o más zonas para el aparato sensor en uso.

20 14. Un aparato sensor de fibra distribuido como se reivindica la reivindicación 13, en el que el aparato está adaptado de manera que un usuario puede seleccionar un subconjunto de porciones longitudinales de la fibra seleccionando una porción de la representación de la trayectoria de la fibra óptica o una representación de los canales de medición de la fibra óptica que se muestran en una pantalla gráfica.

15. Un aparato de sensor de fibra óptica distribuido como se reivindica cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en el que la fibra óptica comprende una primera disposición física en la primera zona y una segunda disposición física, que es diferente de la primera disposición física, en la segunda zona.

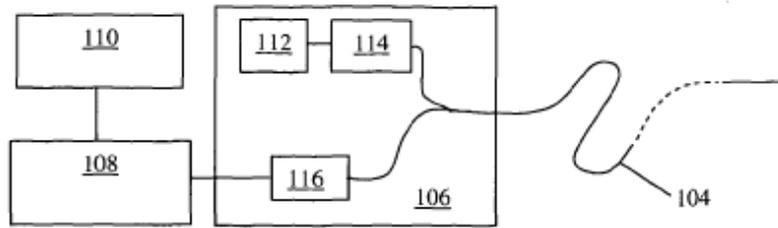


Fig. 1

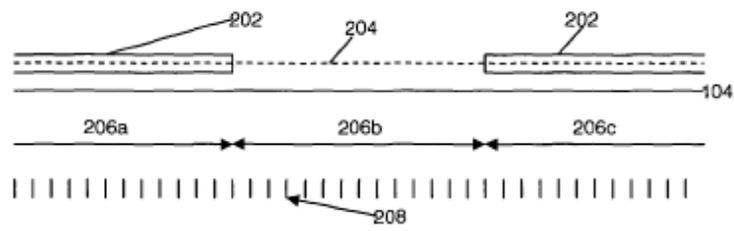


Fig. 2

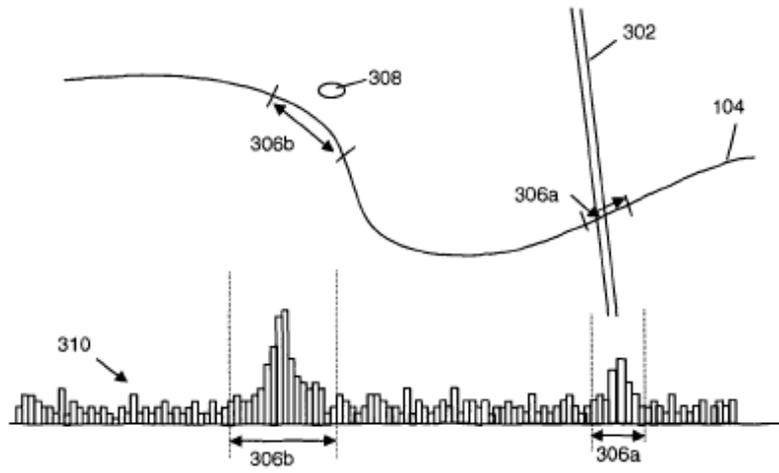


Fig. 3

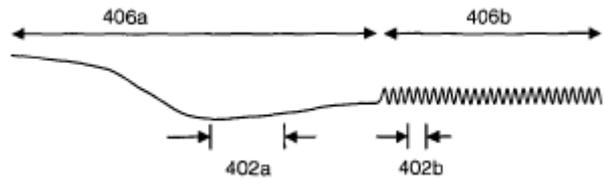


Figura 4

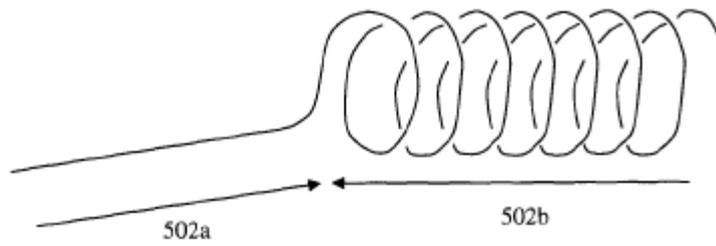


Fig. 5

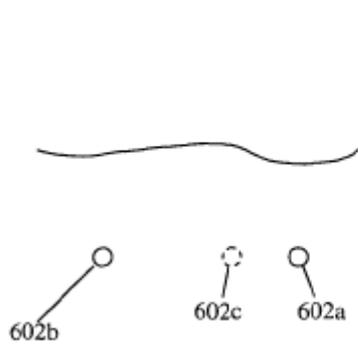


Fig. 6a

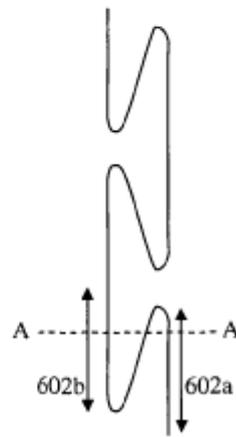


Fig. 6b

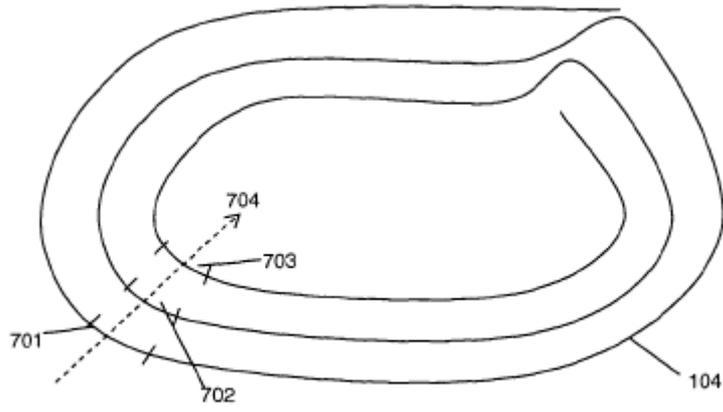


Fig. 7