(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 559 452**

(51) Int. CI.:

G01V 3/12 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2011 E 11763760 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.09.2015 EP 2734868**

(54) Título: **Aparato y método para la inspección del subsuelo no invasiva en tiempo real**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.02.2016

(73) Titular/es:

SIRTI S.P.A. (100.0%)
Via Stamirra d'Ancona 9
20127 Milano, IT

(72) Inventor/es:

DI BUONO, NICOLA y
COTTINO, EDOARDO

(74) Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

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).

APARATO Y MÉTODO PARA LA INSPECCIÓN DEL SUBSUELO NO INVASIVA EN TIEMPO REAL

DESCRIPCIÓN

La presente invención se refiere a un aparato y un método para la inspección del subsuelo tridimensional, no invasiva, en tiempo real.

En particular, la presente invención se refiere a un aparato de inspección del subsuelo de radar usado para verificar la presencia de objetos, tales como tuberías, conductos en general, cables o estructuras metálicas, en tiempo real. Las máquinas de este tipo se usan en la técnica, por ejemplo, siempre que sea necesario verificar si hay alguna tubería, cable o similar en el subsuelo antes de realizar una excavación, por ejemplo para tender cables subterráneos.

En tales casos, se lleva a cabo un análisis del subsuelo antes de realizar la excavación; ventajosamente, dicho análisis se realiza usando métodos no invasivos (por ejemplo mediante técnicas de georadar), para verificar si existe alguna instalación subterránea en el área de excavación.

Si se determina la presencia de elementos sensibles, entonces se marcan los puntos en los que se ubican estos elementos y los lugares en los que no es recomendable seguir con la excavación.

Las excavaciones o canales adaptados para tener uno o más cables, por ejemplo cables eléctricos o de fibra óptica, se realizan normalmente en la superficie de la carretera, por ejemplo en el borde de la carretera, o en algunos casos directamente en el pavimento. En esta fase, especialmente en áreas densamente urbanizadas, el tiempo necesario para completar las operaciones mencionadas anteriormente y las dimensiones de la maquinaria requerida son factores extremadamente cruciales. De hecho, la presencia de un emplazamiento de construcción, o de algún modo de grandes máquinas ocupando la superficie de la carretera, el borde de la carretera y el pavimento, provoca mucho malestar tanto a peatones como a vehículos en tránsito, malestar que es directamente proporcional al área de emplazamiento y a la duración de dicho trabajo de excavación. Por tanto, es muy importante poder completar este trabajo en el tiempo más breve posible, especialmente a la luz del aumento en el número de instalaciones de cables requeridas por particulares, empresas u organismos públicos debido a la difusión masiva de las tecnologías multimedia más recientes (ya usen cables eléctricos o de fibra óptica). Las máquinas de detección tradicionales o bien se accionan mediante motores adecuados o bien se empujan manualmente y están equipadas con al menos una antena de ondas electromagnéticas y una unidad de control/visualización de datos, alimentándose ambas eléctricamente. Los datos adquiridos pueden visualizarse en una pantalla de alta resolución y entonces pueden guardarse en un medio de almacenamiento interno. Se usa un programa de procesamiento de datos para visualizar los objetos subterráneos detectados.

La operación de la máquina se basa en la reflexión de ondas electromagnéticas enviadas al suelo a través de dicha antena, cuyos ecos (reflexiones) pueden recibirse por la misma antena (radar monoestático) o en diferentes ubicaciones (radar biestático). Cuando se analizan, dichas reflexiones pueden indicar cualquier discontinuidad en el subsuelo del área que está investigándose, que puede deberse o bien a causas naturales (estratificación del suelo, cavidades, superficie piezométrica) o causas externas (objetos enterrados, tuberías, cables, recipientes, hallazgos arqueológicos, etc.). En el campo de la ingeniería civil, esta técnica se emplea satisfactoriamente para hallar humedad en estructuras, para verificar la estabilidad de las construcciones de ladrillo (tales como viaductos y túneles ferroviarios) o para localizar espacios de aire, mallas de alambre electrosoldadas, tuberías, cables, etc. Normalmente tales máquinas de la técnica anterior están dotadas de una antena que puede analizar una parte bidimensional del área que está investigándose.

El término “parte bidimensional” se refiere en el presente documento a un análisis llevado a cabo en la dirección del movimiento hacia delante (eje X) de la máquina equipada con antenas y al retorno de ecos asociados con la profundidad del suelo (eje Z).

Para obtener un mapeo completo de una parte tridimensional del subsuelo (X, Y, Z) por medio de una única antena, es necesario subdividir el área y llevar a cabo una exploración bidimensional en cada parte.

Por tanto, la inspección requiere varias exploraciones sucesivas por el área en partes paralelas de la misma, y la antena y el equipo que constituye la máquina deben volver a posicionarse varias veces para llevar a cabo un muestreo bidimensional de esta superficie.

En general, la máquina se mueve en una dirección principal, obteniendo así un muestreo a lo largo de una única línea de exploración. Entonces, las exploraciones posteriores permiten unir entre sí múltiples líneas de exploración paralelas para obtener un muestreo de la superficie examinada.

Para obtener una adquisición completa, la patente IT138304 del presente solicitante emplea una antena asociada con la estructura de soporte de la máquina a través de medios de accionamiento, que hacen que se mueva en una dirección que tiene al menos una componente perpendicular a la dirección de movimiento hacia delante de la propia

máquina.

Como alternativa, cuando se realiza sólo una pasada sobre el área que va a analizarse, la máquina en uso debe dotarse de una pluralidad de antenas que tienen diferentes polarizaciones, realizando cada una una exploración en una región. Todo el conjunto de regiones constituye el área que va a analizarse; entonces un procesamiento simultáneo de todas las exploraciones dará lugar a la imagen tridimensional global del área explorada por la máquina. Resulta evidente que esta solución garantiza tiempos de procesamiento más cortos, permitiendo una visualización en tiempo real de cualquier instalación subterránea.

El documento US 7 675 289 se refiere a un sistema para la detección de anomalías subterráneas lineales que pasan bajo superficies de carreteras y comprende un gradiómetro electromagnético (EM) montado en un remolque de vehículo. Un transmisor está montado en el parachoques delantero de un coche o vehículo que lleva el remolque y proporciona información de sincronización de portadora al gradiómetro EM. Puede usarse una estación radio ventajosa como iluminador. La onda de superficie o transmisor procedente de una estación radio ventajosa dirige ondas de radio hacia el suelo en el que objetos tales como anomalías subterráneas lineales y su equipo producirán reflexiones y ondas dispersas. Estas reflexiones tendrán ángulos de fase y magnitudes que pueden interpretarse para caracterizar la información sobre las anomalías subterráneas lineales. Cada medición del gradiómetro EM se etiqueta con información de localización GPS y a continuación se almacena en una base de datos. Las pasadas posteriores por las mismas calzadas y vías se comparan (detección de cambios) con los datos almacenados anteriormente. Las características y anomalías subterráneas lineales nuevas resultan evidentes en estas comparaciones.

El documento US2003/0043067 da a conocer métodos y sistemas constituidos para identificar un objeto enterrado usando un radar que penetra en el suelo basado en red directiva de antenas que tiene un dispositivo de control, una pluralidad de antenas de transmisión y una pluralidad de antenas de recepción. Tales métodos y sistemas reciben una señal de entrada de sincronización de transmisión y una señal de entrada de sincronización de recepción. Tales métodos y sistemas comprenden un primer circuito de retardo para recibir la señal de entrada de sincronización de transmisión y generar varias señales de sincronización de transmisión intermedias retardadas una respecto a otra por un tiempo de retardo, y un circuito de conmutación de salida de transmisión para seleccionar o bien la señal de entrada de sincronización de transmisión o bien una señal correspondiente de las señales de sincronización de transmisión intermedias como señal de sincronización de transmisión de salida correspondiente. Tales métodos y sistemas también comprenden un segundo circuito de retardo para recibir la señal de entrada de sincronización de recepción y generar varias señales de sincronización de recepción intermedias retardadas una respecto a otra por el tiempo de retardo, un circuito de desplazamiento-retardo acoplado al segundo circuito de retardo y la señal de entrada de sincronización de recepción para sumar el tiempo de retardo a las señales de sincronización de recepción intermedias, y un circuito de conmutación de salida de recepción para seleccionar o bien la señal de entrada de sincronización de recepción o bien una señal correspondiente de las señales de sincronización de recepción intermedias como señal de sincronización de recepción de salida correspondiente. Tales métodos y sistemas también comprenden una red de antenas que comprende una pluralidad de antenas de transmisión, una pluralidad de antenas de recepción y medios para posibilitar de manera selectiva que las antenas de transmisión y recepción permitan que cada una de las antenas de recepción reciba energía desde cualquiera de las antenas de transmisión.

El solicitante consideró el problema de reconstruir una imagen tridimensional en tiempo real empezando por una adquisición de datos de tipo matriz de este tipo. Un aspecto de la presente invención se refiere a un aparato de radar para la inspección del subsuelo no invasiva. Las características y ventajas del aparato según la presente invención resultarán más evidentes a partir de la siguiente descripción no limitativa proporcionada a modo de ejemplo con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una vista en perspectiva esquemática de un aparato según una realización de la presente invención;

- la figura 2 muestra un ejemplo de diseño de antena.

Con referencia a los dibujos indicados anteriormente, el aparato según la presente invención comprende una estructura 2 de soporte móvil, dotada de ruedas 3 o dispositivos similares adaptados para hacer que se mueva en al menos una dirección. Dicha estructura puede moverse manualmente (por ejemplo empujada por un operario), o si no puede estar dotada de un motor adecuado, en cuyo caso el operario sólo tendrá que dirigir la máquina en la dirección deseada.

El aparato también comprende una pluralidad de antenas A, divididas en un grupo que tiene una polarización V vertical y otro grupo que tiene una polarización H horizontal. Dichas antenas transmiten la señal electromagnética hacia el suelo y reciben los ecos de respuesta. Las frecuencias adecuadas de dicha señal están en el intervalo de 200 a 900 MHz. Una unidad de procesamiento electrónico está adaptada para analizar los datos adquiridos por dichas antenas y para reconstruir una imagen de la parte del subsuelo explorada por el aparato, que entonces puede visualizarse en una pantalla 4 adecuada. Ventajosamente, dicha unidad de procesamiento comprende un medio de almacenamiento en el que pueden almacenarse tanto las mediciones de la antena como las imágenes

reconstruidas.

Dichas antenas llevan a cabo exploraciones a intervalos espaciales predeterminados (equivalentes a tiempo por velocidad hacia delante constante), para crear una cuadrícula de puntos de exploración dentro de una región.

Preferiblemente, la máquina comprende además un dispositivo de georreferenciación que, por ejemplo, puede ser un dispositivo GPS, una estación total, o un dispositivo GPS diferencial, que puede asociar la posición según las coordenadas de satélite, por ejemplo con cada exploración. Basándose en esta información, la unidad de procesamiento puede reconstruir un mapa del área explorada con coordenadas georreferenciadas, lo que resulta útil para verificar la presencia de cualquier instalación subterránea. A efectos de la presente invención, el término "instalación subterránea" se refiere a todos los elementos subterráneos que deben monitorizarse y señalizarse para los operarios, tales como tuberías, cables, hoyos, pozos de drenaje, rocas, tubos, etc.

Según la presente invención, dichas antenas se organizan en grupos; en particular, un primer grupo de antenas L1 está adaptado para detectar instalaciones subterráneas transversales, mientras que un segundo grupo de antenas L2 está adaptado para detectar instalaciones subterráneas longitudinales. El primer grupo de antenas incluye una fila de antenas L1 con polarización V vertical para detectar cualquier obstáculo dispuesto transversalmente, preferiblemente en perpendicular, a la dirección de movimiento hacia delante del aparato.

El segundo grupo de antenas L2 incluye al menos dos filas de antenas L21 y L22, en el que las antenas en cada fila tienen polarización H horizontal, para detectar cualquier obstáculo dispuesto longitudinalmente con respecto a la dirección de movimiento hacia delante del aparato.

Por tanto, para hallar cualquier instalación subterránea dispuesta transversalmente a la excavación o corte que ha de realizarse, las antenas del primer grupo reciben de manera sustancialmente simultánea el ruido o señal de retorno anómala, que puede indicar la presencia de una instalación subterránea. La instalación subterránea se detecta con seguridad mediante referencia cruzada, en este caso siguiendo una fase de procesamiento previo, cuando al menos dos antenas adyacentes reciben sustancialmente la misma señal, y se muestra en tiempo real en la pantalla principal de la pantalla mencionada anteriormente. El hecho de que las antenas estén organizadas en diferentes grupos permite obtener una señal "tridimensional". Entonces ésta puede procesarse para obtener una proyección ortogonal en tiempo real de la instalación subterránea en dicha pantalla. Ventajosamente, se guarda la posición de GPS de la instalación subterránea.

En cuanto al segundo grupo de antenas, éstas comprueban la presencia de una instalación subterránea longitudinal de una manera sustancialmente similar, con la diferencia de que la verificación entre las diversas antenas se produce entre una o más antenas pertenecientes a una fila y las de la siguiente fila. De hecho, la presencia de una instalación subterránea longitudinal se determina cuando se detecta la señal anómala o ruido por al menos una antena en una fila y al menos una antena en la siguiente fila. Los datos de inspección pueden transferirse de la unidad de procesamiento como archivos, por ejemplo archivos CAD, mapas georreferenciados (GIS, sistema de información geográfica) o archivos de texto.

Para todas las antenas, la detección se produce en el mismo instante. En particular, la unidad de procesamiento recibe las señales desde todas las antenas simultáneamente, las procesa y entonces devuelve una indicación sobre la presencia o ausencia de una instalación subterránea en tiempo real, en los tres planos espaciales.

Para aumentar la fiabilidad de la detección de la instalación subterránea, la unidad 3 de procesamiento incluye un programa para determinar la velocidad de propagación óptima de los ecos en el suelo por las antenas.

Dicho programa requiere en primer lugar la definición de un valor mínimo y un valor máximo para las posibles velocidades de propagación. Por consiguiente, múltiples exploraciones ejecutadas sobre instalaciones subterráneas a diferentes velocidades de exploración proporcionarán un conjunto de valores que, cuando se reproducen en una gráfica, adoptan forma de parábola.

El vértice de esta parábola corresponderá al valor óptimo de la velocidad de propagación de los ecos por las antenas. Esto se realiza para cada antena. Esta etapa va seguida entonces de la etapa de adquisición y comparación descrita anteriormente.

En resumen, el método de inspección del subsuelo no invasiva para verificar la presencia de instalaciones subterráneas según la presente invención comprende las etapas siguientes:

a) para cada antena, enviar dicha señal electromagnética hacia el suelo a diferentes velocidades de propagación dentro de un intervalo predeterminado,

b) detectar los ecos de retorno de dichas señales enviadas a diferentes velocidades,

c) para cada antena, seleccionar la velocidad de propagación para la que se maximiza el eco de retorno,

d) comparar dichos valores máximos de los ecos de retorno entre las diversas antenas.

Por consiguiente, se detecta la presencia de la instalación subterránea y esta última se visualiza en tiempo real en dicha pantalla.

La instalación subterránea se destaca por medio de un objetivo que tiene un color predeterminado situado en la posición detectada.

El aparato también puede realizar un ensayo de excavación no invasivo a través de una pluralidad de pasadas longitudinales paralelas para explorar un área predefinida. Las detecciones llevadas a cabo en cada pasada se comparan entonces entre sí y la unidad puede entender si las diferentes pasadas se solapan parcialmente y si la alineación inicial para la siguiente pasada es incorrecta. Entonces la unidad corrige automáticamente los datos redundantes resultantes del solapamiento o la alineación inicial incorrecta. En la técnica anterior, se hizo frente a este problema usando soportes de alineación físicos, tales como tiras de caucho o similares, correspondientes al trayecto seguido durante una pasada, que en la presente invención ya no son necesarios.

Como alternativa, en lugar de verificar la presencia de una instalación subterránea, la exploración “tridimensional” permite monitorizar el subsuelo dentro de un área predefinida. En particular, es posible verificar la estratigrafía del área explorada a través de múltiples pasadas como se describió anteriormente, identificando así su composición (asfalto, roca, arena o similar).

Para ello, el algoritmo de identificación puede implementarse a través de una red neuronal que, una vez que se ha completado el proceso de autoaprendizaje, permite discriminar entre los diversos tipos de subsuelo.

REIVINDICACIONES

1. Aparato para la inspección del subsuelo no invasiva, para verificar la presencia de cualquier instalación subterránea, que comprende:

una estructura (2) de soporte móvil que puede moverse en al menos una dirección horizontal, y que soporta una pluralidad de antenas (A) para transmitir una señal electromagnética hacia el suelo y para recibir los ecos de respuesta, y una unidad de procesamiento electrónico para analizar los datos adquiridos por dichas antenas y para reconstruir una imagen de la parte del subsuelo explorada por la máquina,

caracterizado porque comprende

un primer grupo de antenas (L1) que incluye al menos una fila de antenas con polarización vertical, para detectar cualquier instalación subterránea dispuesta transversalmente a la dirección de movimiento hacia delante del aparato,

un segundo grupo de antenas (L2) que incluye al menos dos filas de antenas (L21, L22), en el que las antenas en cada fila tienen una polarización horizontal, para detectar cualquier instalación subterránea dispuesta longitudinalmente con respecto a la dirección de movimiento hacia delante del aparato.

2. Aparato según la reivindicación 1, en el que las filas de antenas tienen una polarización vertical para detectar cualquier instalación subterránea ortogonal a la dirección de movimiento hacia delante del aparato.

3. Aparato según la reivindicación 1, que comprende además una pantalla para visualizar dichas imágenes de la parte del subsuelo explorada.

4. Aparato según la reivindicación 1, en el que dicha unidad de procesamiento comprende un medio de almacenamiento en el que pueden almacenarse tanto las mediciones tomadas por las antenas como las imágenes reconstruidas.

5. Aparato según la reivindicación 1, que comprende además un dispositivo de georreferenciación que puede asociar la posición según las coordenadas de satélite con cada exploración realizada por las antenas.

6. Aparato según la reivindicación 1, en el que todas las antenas están configuradas para llevar a cabo la detección en el mismo instante, y la unidad de procesamiento está configurada para recibir las señales desde todas las antenas simultáneamente y para devolver una indicación de la presencia o ausencia de una instalación subterránea en tiempo real, en los tres planos espaciales.

7. Aparato según la reivindicación 1, en el que dicha unidad de procesamiento comprende un algoritmo de identificación implementado a través de una red neuronal.

8. Uso del aparato según la reivindicación 7 para análisis estratigráfico del subsuelo.

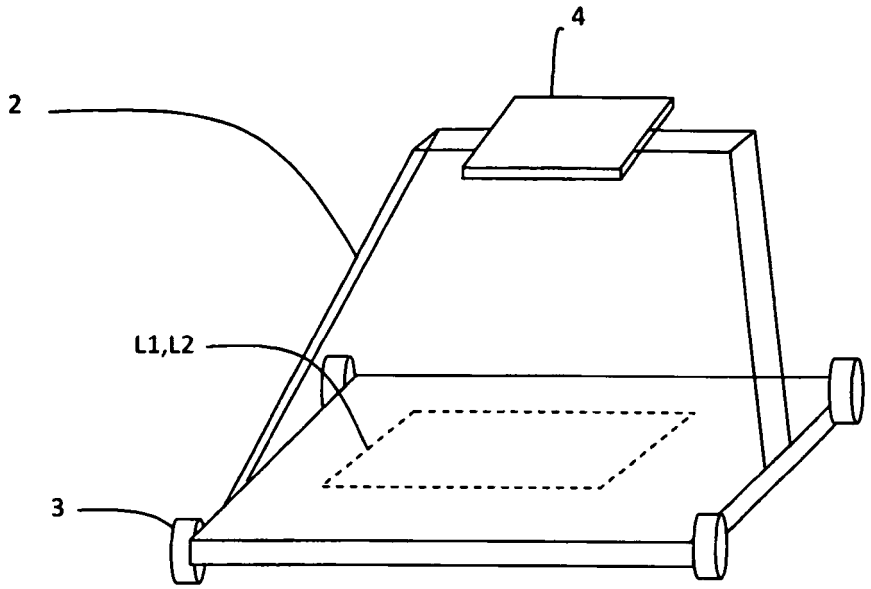

Fig. 1

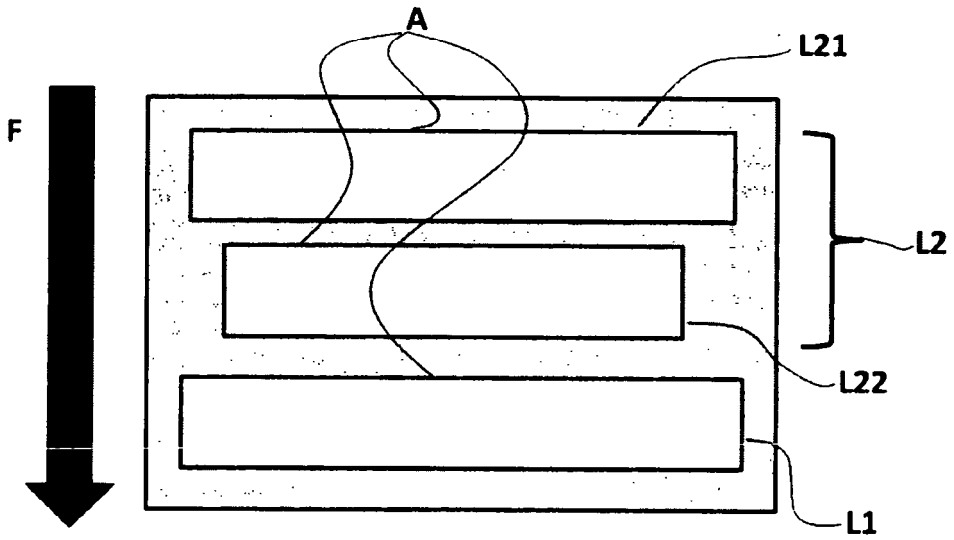

Fig. 2