

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 620 056**

51 Int. Cl.:

G01C 1/02 (2006.01)

G01S 13/89 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.07.2010 PCT/FR2010/051425**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.01.2011 WO2011010042**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2010 E 10742209 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.01.2017 EP 2457059**

54 Título: **Procedimiento de vigilancia de los movimientos de un terreno**

30 Prioridad:

20.07.2009 FR 0955037

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

27.06.2017

73 Titular/es:

SOLETANCHE FREYSSINET (100.0%)

**133 Boulevard National
92500 Rueil Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**GASTINE, ERIC;
BETH, MARTIN y
RANVIER, FABIEN**

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 620 056 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

Procedimiento de vigilancia de los movimientos de un terreno

5 Sector de la técnica

La presente invención está relacionada con el campo de la vigilancia de los movimientos de terreno, tales como, por ejemplo, un deslizamiento de terreno, un hundimiento, una deformación vertical del terreno, o cualquier otro tipo de movimiento de terreno.

10

Estado de la técnica

La vigilancia de los movimientos de terreno es necesaria, en particular, para prevenir el daño de un edificio o una obra de arte construida sobre un terreno sobre el que tienen lugar unos trabajos.

15

Un movimiento de terreno de este tipo puede deberse igualmente a unos trabajos realizados en el suelo de este terreno.

20

Por ejemplo, un terreno podrá tener tendencia a hundirse durante la realización de una obra subterránea como, por ejemplo, un túnel o unas cimentaciones.

Tradicionalmente, la vigilancia de los movimientos de terreno se realiza utilizando uno o varios teodolitos que enfocan a unos blancos de vigilancia dispuestos sobre el terreno o sobre la obra que se desea vigilar.

25

Más recientemente, se ha procurado utilizar las imágenes satélites para vigilar el desplazamiento de puntos de vigilancia dispuestos sobre el terreno, como en el documento JP-H09189762.

30

Para hacer esto, se realiza un estudio interferométrico a partir de una pluralidad de imágenes radar del terreno y de un modelo digital de terreno (MDT) del terreno que se desea vigilar, precisándose que estos datos están fácilmente disponibles en el mercado.

35

En el transcurso de este estudio, se selecciona una pluralidad de puntos de vigilancia situados sobre este terreno. Hoy en día existen varios algoritmos que permiten seleccionar unos puntos de vigilancia que tienen la particularidad de que son bien visibles sobre las imágenes radar.

40

Los puntos de vigilancia se eligen, por lo tanto, de manera que se reenvíe hacia el satélite un eco de intensidad suficiente para que se vean en cada paso del satélite.

45

Entonces, se calculan unos interferogramas puntuales.

50

El resultado del estudio interferométrico permite, por lo tanto, obtener para la zona de estudio, la lista de los puntos de vigilancia, sus coordenadas brutas, así como la variación bruta de sus coordenadas.

55

Sin embargo, se conoce que estos resultados son por lo general con efecto sonoro y de calidad variable. Dicho de otra manera, las coordenadas brutas y las variaciones brutas de coordenadas obtenidas por este método resulta que son poco precisas y, por lo tanto, difícilmente explotables en el estado.

Objeto de la invención

50

Un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento de vigilancia de los movimientos de terreno que ofrece una mejor precisión.

La invención consigue su finalidad por el hecho de que el procedimiento de vigilancia incluye:

55

- una etapa durante la cual se proporcionan las variaciones brutas de las coordenadas de una pluralidad de puntos de vigilancia y de al menos un punto de referencia situados sobre el terreno;

- una etapa de determinación de las variaciones reales de las coordenadas de dicho al menos un punto de referencia; y

60

- una etapa de cálculo de las variaciones corregidas de las coordenadas de los puntos de vigilancia a partir de las variaciones brutas de las coordenadas de los puntos de vigilancia, de las variaciones brutas de las coordenadas de dicho punto de referencia y de las variaciones reales de las coordenadas de dicho punto de referencia.

65

Según la invención, un punto de referencia es un punto del que se conocen perfectamente las variaciones de coordenadas. Estas variaciones perfectamente conocidas se llaman, por lo tanto, variaciones "reales", contrariamente a las variaciones "brutas" que son unas variaciones de coordenadas de las que se sabe que son imprecisas.

Unas variaciones "brutas" corresponden, en concreto, pero no exclusivamente, a unas variaciones obtenidas al final de un estudio interferométrico tal como el descrito más arriba.

5 Una variación "real" puede, por su parte, determinarse por topografía con la ayuda de uno o varios teodolitos. Preferentemente, se utilizan varios puntos de referencia.

Se precisa, por otra parte, que la presente invención es estrictamente independiente del algoritmo utilizado para obtener las variaciones brutas de coordenadas.

10 Se añade que las variaciones brutas pueden provenir de otros datos que no sean satelitales.

Preferentemente, las variaciones brutas de coordenadas se proporcionan periódicamente en varios instantes, constituyendo el conjunto de estos instantes la duración del estudio. Las variaciones reales de las coordenadas de los puntos de referencia se determinan en cada uno de estos instantes.

Ventajosamente, el procedimiento según la invención incluye, además, una etapa durante la cual se determina la variación temporal de al menos una de las coordenadas corregidas de al menos uno de los puntos de vigilancia.

20 Según un modo de realización preferente, la variación temporal corregida de al menos una de las coordenadas de al menos uno de los puntos de vigilancia es la variación corregida de la altitud de este punto de vigilancia.

Se comprende, por lo tanto, que la presente invención permite representar la variación de altitud de la pluralidad de puntos de vigilancia. De manera más precisa, se visualizan los puntos de vigilancia utilizando la tasa de desplazamiento medio de cada punto de vigilancia durante el período de estudio.

Ventajosamente, el procedimiento de vigilancia según la invención incluye, además, una etapa de representación de dicha variación temporal. En el sentido de la invención, esta representación puede hacerse en forma de tabla de datos, de gráficos, de animaciones, de líneas de niveles o de cualquier otra forma de representación que permite que un operario tenga conocimiento de la variación temporal corregida de esta coordenada.

Ventajosamente, en el transcurso de la etapa de representación, la posición de cada uno de los puntos de vigilancia, así como la variación corregida de la altitud de cada uno de los puntos de vigilancia, se representan sobre un mapa geográfico o satélite de un sistema de información geográfica.

35 La variación corregida de la altitud podrá, por ejemplo, esquematizarse por una gama de colores y/o por un gráfico que ilustra la variación de la altitud de los puntos de vigilancia en el transcurso del tiempo.

Preferentemente, la etapa de cálculo de las variaciones corregidas de las coordenadas de los puntos de vigilancia se realiza con la ayuda de las variaciones de las coordenadas brutas y reales de los puntos de referencia entre dos instantes sucesivos.

De manera más precisa, la etapa de cálculo de las variaciones corregidas de las coordenadas de los puntos de vigilancia implementa preferentemente un algoritmo de distribución de los errores de tipo mínimos cuadrados. Entonces se integran ahí los datos relativos a los puntos de referencia.

El cálculo consiste en la creación de una superficie a partir de las variaciones de altitud de los puntos de vigilancia. A continuación, se optimiza esta superficie deformándola para que ajuste de la mejor manera posible las variaciones reales de coordenadas de los puntos de referencia.

50 Según un modo de implementación ventajoso, el procedimiento según la invención incluye, además:

- una etapa durante la cual se proporcionan las coordenadas brutas de dichos puntos de vigilancia y las coordenadas brutas de dicho al menos un punto de referencia;
- 55 - una etapa de determinación de las coordenadas reales de dicho punto de referencia;
- una etapa de cálculo de las coordenadas corregidas de dichos puntos de vigilancia, realizada a partir de las coordenadas brutas de los puntos de vigilancia, de las coordenadas brutas de dicho punto de referencia y de las coordenadas reales de dicho punto de referencia.

60 Dicho de otra manera, el o los puntos de referencia se utilizan igualmente para corregir las coordenadas de puntos de vigilancia. Conociendo las coordenadas reales de estos puntos de referencia y sus coordenadas brutas estimadas, en concreto, por unos métodos interferométricos, se aplica una corrección, por ejemplo, una traslación, (que permite pasar de las coordenadas brutas a las coordenadas reales de los puntos de referencia) a todos los puntos de vigilancia, a continuación de lo cual se obtienen las coordenadas corregidas de dichos puntos de vigilancia.

65

Preferentemente, la corrección de las coordenadas de los puntos de vigilancia solo se efectúa una vez muy al principio del estudio, en particular, cuando el procedimiento se utiliza para vigilar la variación de la altitud de los puntos de vigilancia. Esta corrección se realiza sustancialmente para conocer con precisión la posición de los puntos de vigilancia, dándose la variación de la altitud por las variaciones corregidas de las coordenadas.

5 Preferentemente, las variaciones brutas de las coordenadas y/o las coordenadas brutas se proporcionan a partir de un estudio interferométrico basado en un modelo digital de terreno y varias imágenes radar tomadas por al menos un dispositivo de toma de imágenes radar, preferentemente un satélite.

10 Según un aspecto ventajoso de la invención, al menos uno de los puntos de vigilancia del terreno comprende al menos un reflector de ondas electromagnéticas destinado a estar dirigido hacia dicho al menos un satélite. Este reflector permite, en caso necesario, mejorar la visibilidad del punto de vigilancia.

15 Según otro aspecto ventajoso de la invención, al menos uno de los puntos de referencia del terreno comprende al menos un reflector de ondas electromagnéticas destinado a estar dirigido hacia dicho dispositivo de toma de imágenes radar. En este caso también, el reflector permite mejorar la visibilidad del o de los puntos de referencia, o incluso hacer visible un punto de referencia del que se conocen perfectamente las coordenadas porque se sabe, por ejemplo, que está situado sobre una zona estable. De hecho, puede encontrarse que algunos puntos de referencia particularmente ventajosos no están visibles, sin embargo, naturalmente por el dispositivo de tomas de imágenes radar. Se comprende, por lo tanto, que la invención permite aprovechar unas "cualidades" de estos puntos de referencia haciéndolos visibles (o mejorando su visibilidad) sobre las imágenes radar.

20 Preferentemente, los reflectores son orientables de manera que estén dirigidos hacia unos satélites que evolucionan en unas órbitas diferentes.

25 En lo que se refiere a la determinación de la posición real de los puntos de referencia, se precisa que las coordenadas reales de los puntos de referencia se determinan preferentemente por mediciones GPS y/o por topografía. Podrán utilizarse, en concreto, unos teodolitos para realizar las mediciones topográficas. Las variaciones de coordenadas reales se determinan igualmente de manera preferente por topografía.

30 La presente invención trata igualmente sobre un programa de ordenador que incluye unas instrucciones para la ejecución de las etapas del procedimiento de vigilancia según la invención cuando dicho programa se ejecuta por un ordenador.

35 Este programa puede utilizar cualquier lenguaje de programación, y estar en forma de código fuente, código objeto, o de código intermedio entre código fuente y código objeto, tal como en una forma parcialmente compilada, o en cualquier otra forma deseable.

40 La invención trata, además, sobre un soporte de registro legible por un ordenador sobre el cual está registrado el programa de ordenador según la invención.

Este soporte es, por ejemplo, un disco duro, un CD-rom, un disquete, o cualquier otro tipo de soporte de datos, que puede estar situado en un ordenador local o en un servidor a distancia.

45 La invención se refiere, finalmente, a la utilización del procedimiento según la invención, para la vigilancia de deformaciones no lineales del terreno, susceptibles de producirse, en concreto, durante la realización de una obra subterránea, como, por ejemplo, un túnel. La invención permite igualmente la vigilancia de deformaciones lineales.

Descripción de las figuras

50 La invención se comprenderá mejor tras la lectura de la descripción hecha a continuación, a título indicativo pero no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 55 - la figura 1 es un diagrama que esquematiza las etapas del procedimiento de vigilancia objeto de la invención;
- la figura 2 es una vista en perspectiva de un reflector de ondas radar destinado a estar posicionado en un punto de referencia.
- la figura 3 muestra una superficie bruta obtenida a partir de las variaciones brutas de las coordenadas de los puntos de vigilancia, así como las variaciones reales de los puntos de referencia;
- 60 - la figura 4 muestra una superficie corregida obtenida a partir de la deformación de la superficie bruta de la figura 3;
- la figura 5 ilustra la representación de los dos puntos de vigilancia después de corrección, así como las variaciones corregidas de la altitud de uno de ellos;
- la figura 6 ilustra la representación de dos puntos de vigilancia cuyas coordenadas brutas no están corregidas; y
- 65 - la figura 7 representa un ordenador que comprende un disco duro sobre el cual está registrado el programa de ordenador que implementa el procedimiento según la invención.

Descripción detallada de la invención

Con la ayuda de la figura 1, van a describirse las etapas de un modo de implementación del procedimiento de vigilancia según la invención.

5 El procedimiento según la invención utiliza las variaciones brutas, en el transcurso del tiempo, de las coordenadas de una pluralidad de puntos de vigilancia (PSI).

10 Como se ha mencionado más arriba, el procedimiento según la invención es independiente del medio o algoritmo utilizado para obtener estas variaciones brutas, precisándose que unos medio o algoritmo de este tipo ya se conocen por otra parte.

15 En este un modo de implementación, se utilizará un estudio o proceso interferométrico para obtener dichas variaciones brutas, conociéndose un proceso de este tipo por otra parte.

20 Antes de detallar el proceso interferométrico, se precisa que en el sentido de la invención, un punto de vigilancia es una zona en el suelo que refleja muy bien las ondas radar, y cuyas características reflectivas son preferentemente constantes en el tiempo. Esto significa que se estará seguro de poder detectar y vigilar los desplazamientos de este punto de vigilancia en el tiempo. Un punto de vigilancia está constituido, por ejemplo, por un edificio, un tejado de casa, un pretil de puente, una tubería o cualquier otra estructura reflectante.

25 El proceso interferométrico corresponde al bloque **S10** de la figura 1. En el transcurso de este proceso, se utiliza una pluralidad de imágenes radar **12** del terreno que se desea vigilar, precisándose que estas imágenes están tomadas por al menos un satélite **S** en diferentes instantes. Convencionalmente, cada imagen radar posee una amplitud y una fase. La interferometría está basada de manera precisa en la diferencia de fase entre dos imágenes radar tomadas entre dos instantes sucesivos.

30 Este proceso necesita, además, un modelo digital de terreno **14** (MDT) que permite eliminar las contribuciones de la topografía en la señal de fase, y crear unas matrices de paso entre la geometría radar y la geometría geográfica.

Este modelo digital de terreno **14** cubre la zona de estudio, es decir, el terreno que se desea vigilar.

35 Un modelo digital de terreno **14** de este tipo está disponible por lo general con libre acceso en Internet. Podrá elegirse, por ejemplo, el modelo SRTM.

En el transcurso de la etapa **S16**, se determina una lista de puntos de vigilancia, así como sus coordenadas brutas. La utilización de datos ENVISAT permite obtener unas coordenadas brutas que tienen una precisión comprendida entre 5 y 10 metros.

40 Aun en el transcurso de esta etapa, se calculan las matrices de paso de las coordenadas brutas de las imágenes radar en coordenadas geográficas brutas.

45 Son preferentemente las coordenadas geográficas las que se utilizan en la implementación del procedimiento según la invención.

50 A continuación, se calculan unos interferogramas brutos que experimentan posteriormente una etapa de descomposición de los componentes de la señal **S18**. Esta etapa de limpieza de efecto sonoro consiste en eliminar las contribuciones que no son las relacionadas con el movimiento del suelo, pudiendo estas contribuciones parásitas estar relacionadas con unos problemas orbitales topográficos o con la variabilidad de componentes atmosféricos.

De esta manera, el proceso interferométrico permite obtener, para la zona de estudio, la lista de los puntos de vigilancia PS_i , sus coordenadas brutas $X_B(PS_i)$ - donde $X = (x,y,z)$ - así como sus variaciones brutas de coordenadas $\Delta_B X(PS_i)$.

55 Ahora van a describirse más en detalle las etapas del procedimiento de vigilancia según la invención, agrupándose estas etapas en el bloque **S100** de la figura 1 y basándose en los datos brutos proporcionados en el transcurso del proceso interferométrico **S10**.

60 En este ejemplo, la variación bruta de coordenadas que nos interesa es la variación bruta $\Delta_{Bz}(PS_i)$ de la altitud z de cada uno de los puntos de vigilancia, considerándose esta altitud z preferentemente según una dirección vertical. De conformidad con la invención, se selecciona igualmente al menos un punto de referencia PR_j (preferentemente varios) situado sobre el terreno, es decir, la zona de estudio.

65 Un punto de referencia PR_j es, por ejemplo, un punto situado sobre el suelo del que se conocen perfectamente, o por lo menos del que pueden conocerse perfectamente, las variaciones de coordenadas en el transcurso del tiempo. Con frecuencia, pero no exclusivamente, este punto de referencia PR_j está dispuesto sobre una zona del terreno que

es estable, o por lo menos cuyos desplazamientos son muy débiles en el transcurso del tiempo, o también cuyos desplazamientos eventuales son fácilmente medibles. En este un modo de implementación, se utiliza una pluralidad de puntos de referencia PR_i con el fin de mejorar la precisión de las mediciones.

5 Según un aspecto ventajoso de la invención, algunos de los puntos de referencia PR_k están equipados con un reflector de ondas radar **20**, visible en la figura **2**, si sus reflectividades naturales de ondas electromagnéticas no es suficiente para que estos puntos aparezcan claramente sobre las imágenes radar **12** tomadas por el satélite **S**. Cada reflector **20** está alineado con el eje de enfoque **A** del satélite **S**, como se esquematiza esto en la figura **3**.

10 Este reflector **20** presenta la particularidad de que es orientable con el fin de poder estar alineado con los ejes de enfoque de satélites que evolucionan sobre unas órbitas diferentes. Presenta la forma de un triedro del que puede regularse la inclinación y el azimut. En este ejemplo, el satélite utilizado es ENVISAT cuyo eje de enfoque forma un ángulo de 23° con la vertical.

15 Se comprende, por lo tanto, que el proceso interferométrico descrito más arriba proporciona, además, las coordenadas brutas $X_B(PR_i)$ - donde $X = (x,y,z)$ - y las variaciones brutas $\Delta_B X(PR_i)$ de las coordenadas de los puntos de referencia PR_i .

20 De conformidad con la invención, en el transcurso de la etapa **S110** se determinan las variaciones reales $\Delta_R X(PR_i)$ de las coordenadas de los puntos de referencia, así como las coordenadas reales $X_R(PR_i)$ de los puntos de referencia.

25 En este ejemplo, las variaciones reales de las coordenadas de los puntos de referencia y sus coordenadas reales se determinan por unas mediciones topográficas o con la ayuda de un GPS. Preferentemente, estas mediciones se realizan periódicamente, por ejemplo, cada día en que se toma una imagen radar **12**. Por otra parte, las mediciones topográficas podrán efectuarse con la ayuda de uno o varios teodolitos **22** que enfocan a unos blancos dispuestos en los puntos de referencia PR_i .

30 Estas mediciones permiten calcular unos vectores que representan las variaciones reales de las coordenadas de los puntos de referencia.

35 Para aquellos de los puntos de referencia PR_k de los que se conocen de manera precisa las coordenadas reales $X_R(PR_k)$, así como las variaciones reales $\Delta_R X(PR_k)$ de coordenadas durante la duración del estudio, no es necesario efectuar las mediciones periódicas anteriormente citadas. Unos puntos de referencia PR_k de este tipo serán con frecuencia unos puntos de referencia equipados con reflectores **20** situados en unas zonas sin movimiento de suelo.

40 A continuación, se realiza una etapa **S120** de cálculo de las coordenadas corregidas $\Delta_c X(PS_i)$ de dichos puntos de vigilancia, realizada a partir de las coordenadas brutas $\Delta_B X(PS_i)$ de los puntos de vigilancia, de las coordenadas brutas $X_B(PR_i)$ de los puntos de referencia y de las coordenadas reales $X_R(PR_i)$ de los puntos de referencia.

45 Para hacer esto, los puntos de referencia se utilizan para corregir las coordenadas brutas de los puntos de vigilancia. Se conocen las coordenadas reales de estos puntos de referencia y sus coordenadas brutas estimadas al final del proceso interferométrico **S010**. Entonces, se calcula una corrección, por ejemplo, una traslación entre las coordenadas brutas $X_B(PR_i)$ y las coordenadas reales $X_R(PR_i)$ de los puntos de referencias, que se aplica a continuación a las coordenadas brutas $X_B(PS_i)$ de todos los puntos de vigilancia, gracias a lo cual se obtienen las coordenadas corregidas $X_c(PS_i)$ de los puntos de vigilancia, lo que permite mejorar sustancialmente la precisión de sus posiciones.

50 Se realiza igualmente una etapa **S130** de cálculo de las variaciones corregidas $\Delta_c X(PS_i)$ de las coordenadas de los puntos de vigilancia, realizada a partir de las variaciones brutas $\Delta_B X(PS_i)$ de las coordenadas de los puntos de vigilancia, de las variaciones brutas $\Delta_B X(PR_i)$ de las coordenadas de los puntos de referencia y de variaciones reales $\Delta_R X(PR_i)$ de las coordenadas de los puntos de referencia.

55 Para hacer esto, la fecha en la cual se toma la más antigua de las imágenes radar **12** se toma como fecha de referencia. Las variaciones de coordenadas son, por lo tanto, relativas con respecto a esta fecha, pero también con respecto a uno de los puntos de referencia.

60 Para cada una de las imágenes radar **12** tomadas por el satélite **S**, se implementa un algoritmo de distribución de los errores de tipo mínimos cuadrados integrando las coordenadas reales de los puntos de referencia. Este algoritmo se aplica a las variaciones de coordenadas entre dos imágenes radar. En este ejemplo, la etapa de cálculo **S130** que permite proporcionar las variaciones corregidas de coordenadas en el instante corriente se aplica entre la fecha de la segunda imagen radar y el instante corriente, siendo la segunda imagen radar la que se ha tomado después de la imagen radar cuya fecha sirve de referencia.

65 Se precisa que el cálculo consiste en este caso en la creación de una superficie matemática **30**, representada en trazos punteados en la figura **3**, a partir de la variación bruta de la altitud de los puntos de vigilancia $\Delta_B z(PS_i)$ y de los

puntos de referencia $\Delta_{Bz}(PR_i)$. Por lo tanto, no interesan en este caso las otras dos coordenadas (x,y) en la medida en que se busca vigilar los eventuales asientos de terreno.

5 A continuación, se optimiza esta superficie **30** por el algoritmo anteriormente citado deformándola para que ajuste de la mejor manera posible las variaciones reales $\Delta_{Rz}(PR_i)$ de las altitudes de los puntos de referencias, a continuación de lo cual se obtiene una superficie corregida **40**, representada en trazos continuos en la figura **4**, que proporciona las variaciones corregidas $\Delta_{Cz}(PS_i)$ de las altitudes de los puntos de vigilancia.

10 Sin salirse del marco de la presente invención, podrían calcularse las variaciones reales de las otras dos coordenadas (x,y) de los puntos de vigilancia.

15 De conformidad con la invención, se realiza una etapa de representación **S140** de la variación temporal de al menos una de las coordenadas corregidas de uno de los puntos de vigilancia **PS₁**. En este ejemplo, ilustrado en la figura **5**, la posición del punto de vigilancia **PS₁**, así como la variación corregida de su altitud se representan sobre un mapa **M** de un sistema de información geográfica. Se precisa que este punto de vigilancia **PS₁** se posiciona gracias a sus coordenadas corregidas.

20 Se ha ilustrado igualmente en la figura **6**, a título de información, la posición de este mismo punto **PS₁** con la ayuda de sus coordenadas brutas. Se constata que el punto de vigilancia se posiciona en el agua de manera errónea, al lado del puente **50**.

25 El usuario, seleccionando el punto **PS₁**, obtiene un gráfico que le indica la variación corregida de la altitud $\Delta_{Cz}(PS_1)$ del punto **PS₁** en el transcurso del tiempo. Un código de color puede utilizarse igualmente con el fin de permitir que el usuario visualice rápidamente sobre el mapa **M** cuáles son los puntos de vigilancia que presentan en el instante corriente la variación de altitud más importante.

30 El procedimiento de vigilancia según la invención se presenta preferentemente en forma de un programa de ordenador que incluye unas instrucciones en un lenguaje de programación estándar. En este ejemplo, este programa de ordenador está almacenado en un disco duro **60** de un ordenador **62**, esquematizados en la figura **7**.

Este programa de ordenador, o una parte de este, podrá cargarse en un servidor accesible a distancia por un ordenador a distancia.

35 De manera particularmente ventajosa, este procedimiento de vigilancia permite detectar el hundimiento eventual de un terreno en el cual se realiza una obra subterránea, tal como un túnel. De hecho, las deformaciones provocadas por la construcción de un túnel son con frecuencia no lineales, por lo que los algoritmos actualmente utilizados, que realizan una regresión lineal, no permiten detectarlas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de vigilancia de los movimientos de un terreno, que comprende:

- 5 - una etapa durante la cual se proporcionan las variaciones brutas ($\Delta_B X(PS_i)$) de las coordenadas de una pluralidad de puntos de vigilancia (PS_i) situados sobre el terreno, y las variaciones brutas ($\Delta_B X(PR_i)$) de las coordenadas de al menos un punto de referencia (PR_i) situado sobre el terreno;

y **caracterizado por que** comprende:

- 10 - una etapa de determinación (S110) de las variaciones reales ($\Delta_R X(PR_i)$) de las coordenadas de dicho al menos un punto de referencia;
- 15 - una etapa de cálculo (S130) de las variaciones corregidas ($\Delta_C X(PS_i)$) de las coordenadas de los puntos de vigilancia, realizada a partir de las variaciones brutas de las coordenadas de los puntos de vigilancia, de las variaciones brutas de las coordenadas de dicho punto de referencia y de las variaciones reales de las coordenadas de dicho punto de referencia.

2. Procedimiento de vigilancia de los movimientos de un terreno según la reivindicación **1**, **caracterizado por que** incluye, además, una etapa durante la cual se determina la variación temporal corregida ($\Delta_{Cz}(PS_1)$) de al menos una de las coordenadas de al menos uno de los puntos de vigilancia (PS_1).

3. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación **2**, en el que la variación temporal corregida de al menos una de las coordenadas de al menos uno de los puntos de vigilancia es la variación corregida de la altitud ($\Delta_{Cz}(PS_1)$) de este punto de vigilancia.

4. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación 2 o 3, **caracterizado por que** incluye, además, una etapa de representación (S204) de dicha variación temporal.

5. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación 4, en el que, en el transcurso de la etapa de representación, la posición de cada uno de los puntos de vigilancia, así como la variación corregida ($\Delta_{Cz}(PS_i)$) de la altitud de cada uno de los puntos de vigilancia, se representan sobre un mapa geográfico (M) o satélite de un sistema de información geográfica.

6. Procedimiento de vigilancia según una cualquiera de las reivindicaciones **1** a **5**, en el que la etapa de cálculo (S130) de las variaciones corregidas de las coordenadas de los puntos de vigilancia ($\Delta_C X(PS_i)$) se realiza con la ayuda de las variaciones de las coordenadas brutas y reales de los puntos de referencia entre dos instantes sucesivos.

7. Procedimiento de vigilancia según una cualquiera de las reivindicaciones **1** a **6**, en el que la etapa de cálculo (S130) de las variaciones corregidas de las coordenadas de los puntos de vigilancia ($\Delta_C X(PS_i)$) implementa un algoritmo de distribución de los errores de tipo mínimos cuadrados.

8. Procedimiento de vigilancia según una cualquiera de las reivindicaciones **1** a **7**, **caracterizado por que** incluye, además:

- una etapa durante la cual se proporcionan las coordenadas brutas $X_B(PS_i)$ de dichos puntos de vigilancia (PS_i) y las coordenadas brutas $X_B(PR_i)$ de dicho al menos un punto de referencia (PR_i);
- una etapa de determinación de las coordenadas reales $X_R(PR_i)$ de dicho punto de referencia (PR_i);
- una etapa de cálculo (S120) de las coordenadas corregidas $X_C(PS_i)$ de dichos puntos de vigilancia, realizada a partir de las coordenadas brutas de los puntos de vigilancia, de las coordenadas brutas de dicho punto de referencia y de las coordenadas reales de dicho punto de referencia.

9. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación **8**, en el que las variaciones brutas de las coordenadas y/o las coordenadas brutas se proporcionan a partir de un estudio interferométrico (S10) basado en un modelo digital de terreno (14) y varias imágenes radar (12) tomadas por al menos un dispositivo de toma de imágenes radar (S).

10. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación **9**, en el que al menos uno de los puntos de vigilancia (PS_i) del terreno comprende al menos un reflector de ondas electromagnéticas (20) destinado a estar dirigido hacia dicho al menos un dispositivo de toma de imágenes radar (S).

11. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación **9** o **10**, en el que al menos uno de los puntos de referencia (PR_k) del terreno comprende al menos un reflector de ondas electromagnéticas (20) destinado a estar dirigido hacia dicho al menos un dispositivo de toma de imágenes radar (S).

12. Procedimiento de vigilancia según una cualquiera de las reivindicaciones **1** a **11**, en el que las coordenadas reales $X_R(PR_i)$ de los puntos de referencia (PR_i) se determinan por mediciones GPS o por topografía.

13. Programa de ordenador que incluye unas instrucciones para la ejecución de las etapas del procedimiento de vigilancia según una cualquiera de las reivindicaciones **1** a **12** cuando dicho programa se ejecuta por un ordenador (62).

5 14. Soporte de registro (60) legible por un ordenador (62) sobre el cual está registrado el programa de ordenador de la reivindicación **13**.

10 15. Utilización del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones **1** a **12**, para la vigilancia de deformaciones no lineales del terreno, susceptibles de producirse, en concreto, durante la realización de una obra subterránea.

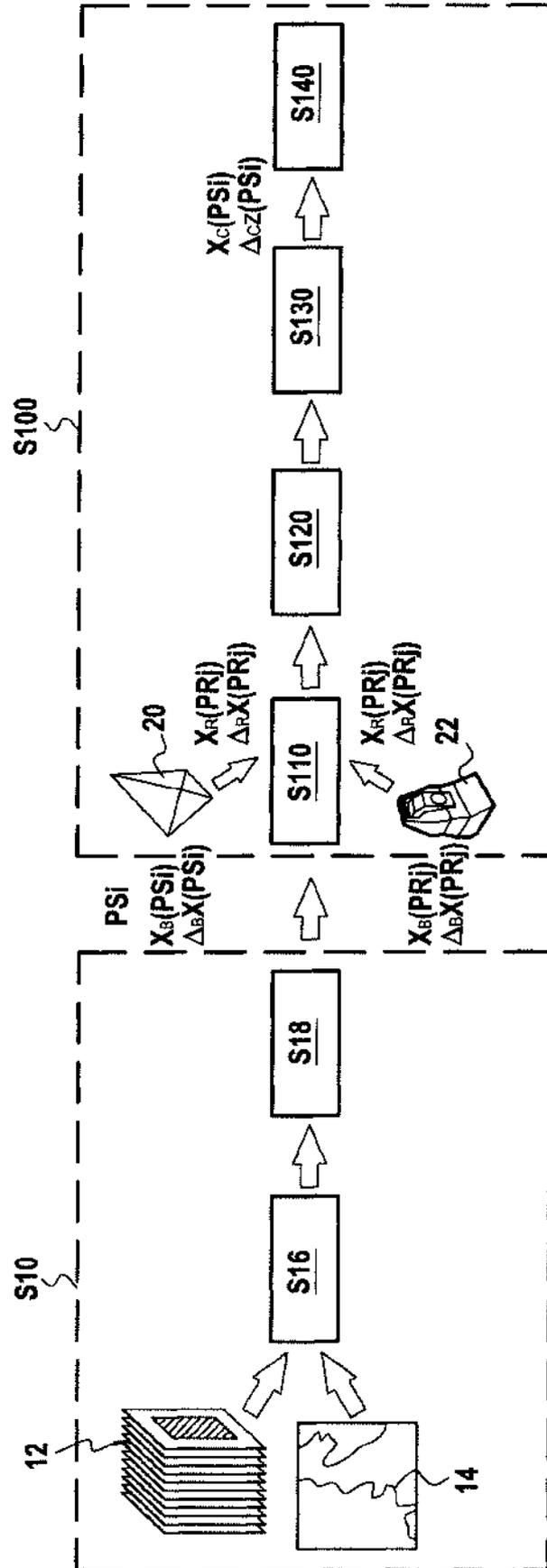


FIG.1

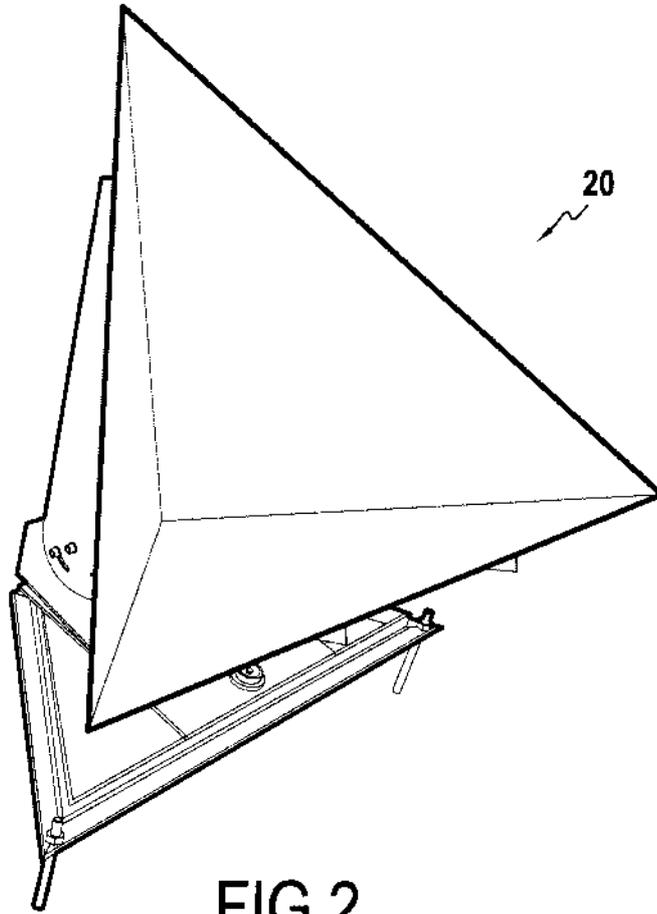


FIG. 2

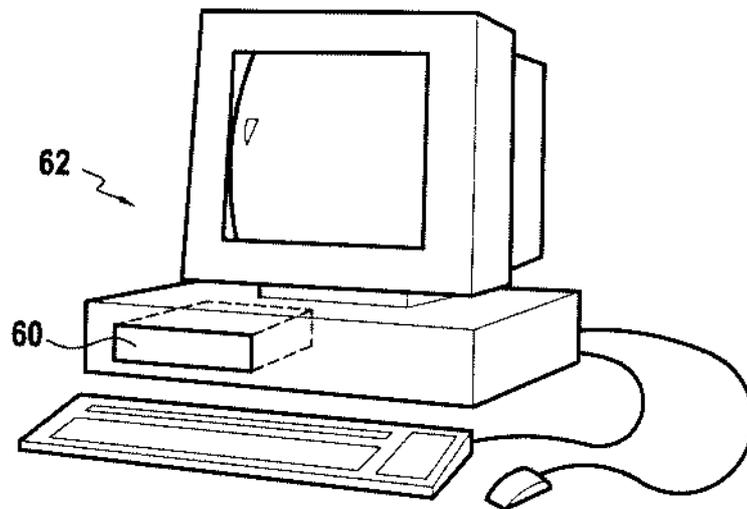
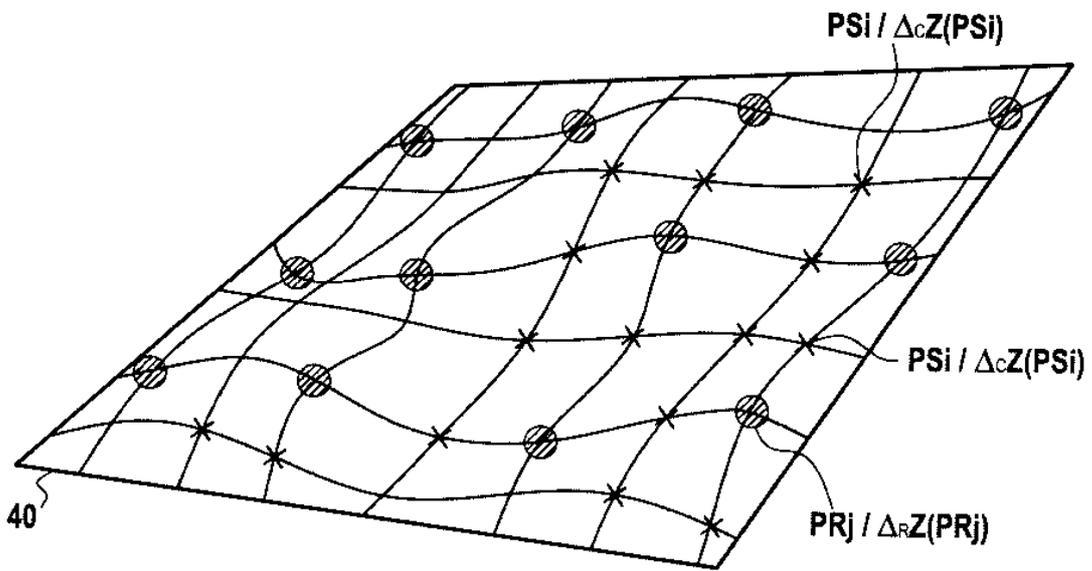
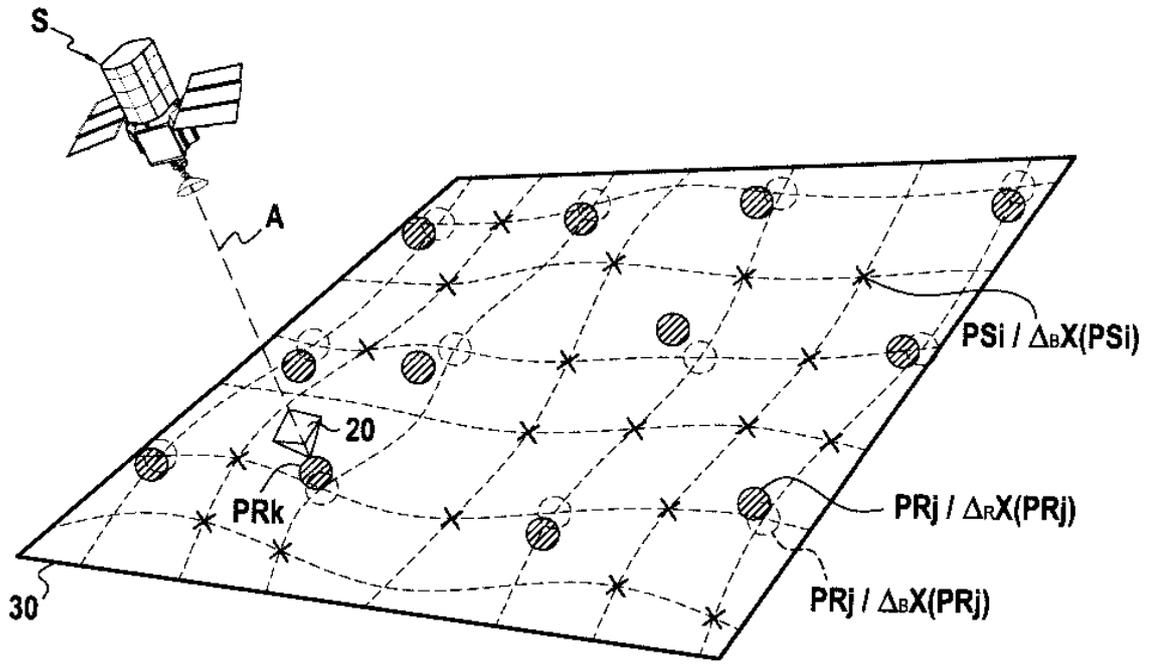


FIG. 7



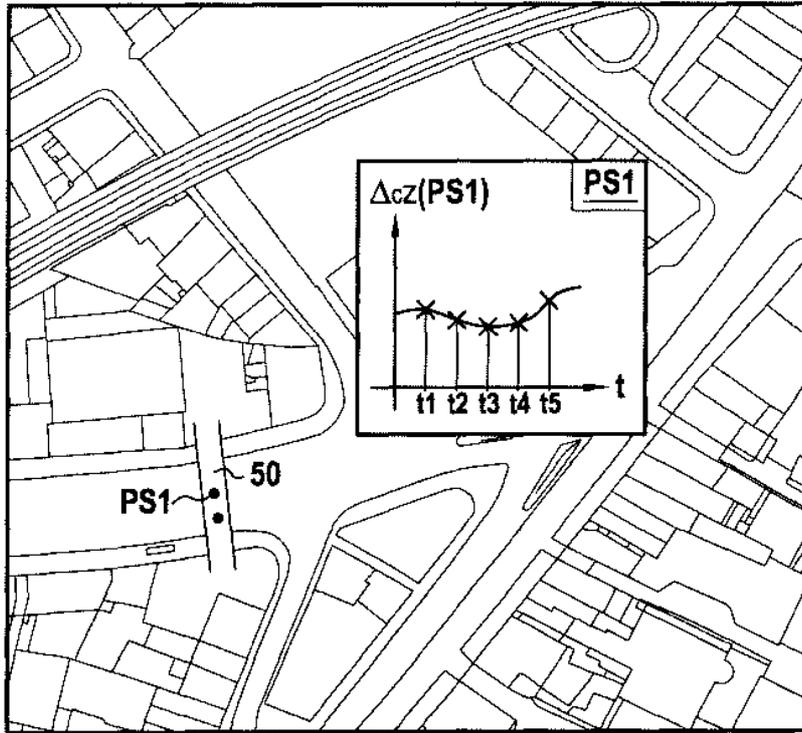


FIG.5

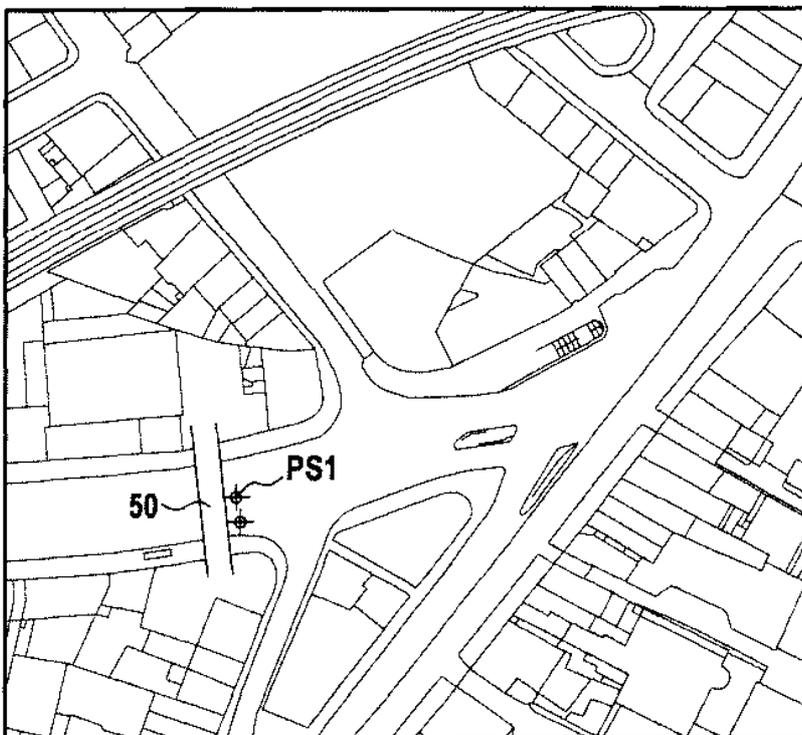


FIG.6