

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 578 797**

51 Int. Cl.:

G06T 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2013 E 13709900 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 2828825**

54 Título: **Procedimiento de determinación de un plano del suelo a partir de una imagen de profundidad**

30 Prioridad:

23.03.2012 FR 1252645

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

01.08.2016

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**ALLEZARD, NICOLAS;
HERVIEU, ALEXANDRE y
LUCAT, LAURENT**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 578 797 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 determinación de un plano del suelo a partir de una imagen de profundidad

La invención se sitúa en el campo del tratamiento de imágenes aplicable a la detección de objetivos y, más precisamente, en el campo de la estimación del plano del suelo en unas imágenes. Se refiere a un procedimiento de estimación de un conjunto de parámetros que definen un plano del suelo a partir de una imagen de profundidad.

Con el incremento del tráfico por carretera y la creciente demanda de un refuerzo en la seguridad de los bienes y de las personas, desde hace al menos una decena de años se ha intensificado la investigación científica sobre los sistemas de ayuda a la conducción, en particular los sistemas de detección de objetos en unas imágenes, tanto si se trata de objetos de interés tales como unos paneles de señalización, como de obstáculos tales como peatones. La detección de objetos en unas imágenes se facilita grandemente por el conocimiento del entorno tridimensional de los objetos. La principal información de contexto útil para la detección de objetos es la localización del plano del suelo en las imágenes. El conocimiento de esta información permite principalmente concentrar la investigación de objetos sobre las zonas de la imagen en la que la probabilidad de detección es mayor, determinar la dimensión de los objetos a buscar (por ejemplo en función del tamaño medio de persona), y determinar si un objeto detectado está situado o no sobre el suelo. El plano del suelo puede determinarse a partir de una imagen de profundidad, obtenida a su vez por ejemplo a partir de un par de imágenes estereoscópicas. Como todo plano del espacio tridimensional, el plano del suelo puede definirse matemáticamente por tres parámetros independientes. A título de ejemplo, estos parámetros pueden ser la altura h de las cámaras con relación al suelo, el ángulo θ formado entre el eje de cada cámara y el plano del suelo, y el ángulo φ formado entre el plano del suelo y el eje que pasa por los centros ópticos de las cámaras.

En el marco de un sistema de detección de obstáculos incorporado en un vehículo automóvil, el plano del suelo es susceptible de evolucionar con relación al eje de las cámaras en función del relieve del suelo (por ejemplo la carretera) sobre el que evoluciona el vehículo, de la carga del vehículo, y de las aceleraciones que sufre. Además, la posición y la orientación de las cámaras con relación al vehículo pueden variar en razón de sacudidas o choques. Generalmente el plano del suelo no puede por tanto estimarse de una vez por todas para una configuración dada de las cámaras. Existe también una necesidad para determinar dinámicamente el plano del suelo en las imágenes, es decir para cada par de imágenes estereoscópicas o al menos a intervalos de tiempo regulares.

El artículo "A stereo vision-based aid for the visually impaired", de N. Molton, describe un procedimiento de determinación del plano del suelo basado en una secuencia de imágenes estereoscópicas.

Los procedimientos para estimar el plano del suelo a partir de una imagen de profundidad utilizan frecuentemente un cálculo de v -disparidad. Este cálculo implica, por un lado, la construcción de un histograma bidimensional que representa la relación entre la profundidad y la posición vertical de los puntos de la imagen de disparidad y , y por otro lado, la determinación del ángulo θ y de la altura h mediante una transformada de Hough. Un cálculo de v -disparidad de ese tipo se describe por ejemplo en R. Labayrade, D. Aubert, J.-P. Tarel: "Real Time Obstacle Detection in Stereovision on Non Flat Road Geometry Through "V-Disparity" Representation", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Versailles, Francia, págs. 646-650, 2002. El cálculo es generalizable con la determinación de dos ángulos θ y φ , con la ayuda de un histograma tridimensional y de una transformada de Hough generalizada. Por otro lado, los parámetros θ , φ y h pueden determinarse individualmente con el fin de minimizar el tiempo de cálculo y la memoria requerida. Por ejemplo, el artículo de N. Suguma, M. Shimoyama y N. Fujirawa : "Obstacle Detection Using Virtual Disparity Image for Non-Flat Road", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Eindhoven, Holanda, págs. 596-601, 2008, describe un procedimiento en el que los parámetros θ y h se determinan a partir de una transformada de Hough en el espacio d - v , y en el que el parámetro θ se determina a continuación mediante una transformada de Hough en el espacio u - v , en los que d designa la disparidad y (u, v) las coordenadas de la imagen de una de las dos cámaras.

De manera general, los procedimientos que utilizan un cálculo de v -disparidad permiten estimar el plano del suelo con una cierta robustez en relación con la presencia de obstáculos verticales de reducidas dimensiones, es decir representados por un número relativamente reducido de píxeles en la imagen de disparidad. Tal es el caso principalmente en presencia de personas en pie. Por el contrario, cuando la presencia de objetos verticales se hace muy grande, por ejemplo si está presente un muro en la imagen, los procedimientos de estimación pueden proporcionar unos resultados aberrantes, por ejemplo el plano del muro de la imagen. Por otro lado, estos procedimientos son igualmente muy dependientes de la cantidad y de la calidad de los datos de profundidad de los píxeles. Estos datos de profundidad se calculan generalmente mediante un algoritmo de colocación en correspondencia de dos imágenes estereoscópicas tomadas simultáneamente. La colocación en correspondencia de los píxeles entre las dos imágenes estereoscópicas no es posible más que si estas imágenes representan unas zonas con textura, es decir si pueden ser identificados fácilmente unos puntos de la escena observada en cada una de las imágenes. Ahora bien ciertas escenas no originan más que muy pocas zonas con textura. De ese modo, la precisión de la estimación del plano del suelo puede convertirse en insuficiente incluso en imposible para ciertas escenas.

Con el fin de reducir el impacto de estos dos problemas, es posible introducir unas restricciones topológicas y/o unas restricciones temporales en los procedimientos de estimación del plano del suelo. La introducción de restricciones topológicas consiste en filtrar los resultados, en este caso los parámetros que definen el plano del suelo, según que caigan o no en los intervalos de valores aceptables. Estos intervalos de valores deben determinarse en función del contexto de utilización, principalmente según que el suelo sea susceptible de ser horizontal o inclinado, según que pueda o no presentar unos orificios y unas protuberancias, según que el vehículo posea unas suspensiones flexibles o duras, según que pueda o no estar cargado, etc. La introducción de restricciones temporales consiste en aprovechar la coherencia entre la estimación de una imagen y la de una imagen anterior. Típicamente, se trata de permitir una variación en cantidad limitada entre dos estimaciones.

A título de ejemplo, en el artículo citado más arriba de N. Suguma, M. Shimoyama y N. Fujirawa: "Obstacle Detection Using Virtual Disparity Image for Non-Flat Road", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Eindhoven, Holanda, págs. 596-601, 2008, el procedimiento de estimación del plano del suelo integra unas restricciones topológicas sobre la altura de las cámaras con relación al suelo. En este caso, solo se toman en consideración para la determinación del plano del suelo los puntos que corresponden a una altura comprendida entre dos extremos fijos. Igualmente, en el artículo de F. Oniga y S. Nedeveschi: "Processing Dense Stereo Data Using Elevation Maps: Road Surface, Traffic Isle, and Obstacle Detection", IEEE Tr. On Vehicular Technology, Vol. 59, N.º 3, págs. 1172-1182, 2010, se presenta un procedimiento en el que los puntos se clasifican como pertenecientes o no a la carretera según unos márgenes fijos predefinidos. La introducción de restricciones topológicas en estos procedimientos permite ciertamente mejorar la estimación del plano del suelo y, en consecuencia, la detección de obstáculos durante una circulación sobre la carretera. Sin embargo, estas restricciones topológicas se basan en unos parámetros fijos, determinados previamente a la utilización de los procedimientos de estimación en función del contexto de aplicación deseado. En consecuencia, estos procedimientos de estimación no son fiables cuando el entorno se separa significativamente del entorno nominal.

Un objeto de la invención es principalmente solucionar en todo o en parte unos inconvenientes antes mencionados adaptando las restricciones topológicas y temporales en función de una estimación de la calidad de los datos de la imagen y de una estimación de la calidad del plano del suelo estimada para la imagen precedente. Con este fin, la invención tiene por objeto un procedimiento de determinación de un triplete de parámetros que definen un plano del suelo en una referencia tridimensional a partir de una imagen de profundidad tomada en una secuencia de imágenes. El procedimiento comprende:

- una etapa de selección de puntos válidos en la imagen de profundidad en curso, siendo los puntos válidos los puntos de la imagen cuya distancia a un punto de origen de la referencia tridimensional está comprendida entre una distancia mínima predeterminada y una distancia máxima predeterminada,
- una etapa de determinación de un indicador R_{3d} para la imagen de profundidad en curso, siendo dicho indicador función del número de puntos válidos en la imagen de profundidad en curso, y del número total de puntos en esta imagen,
- una etapa de selección de un conjunto de puntos de interés en la imagen de profundidad en curso, seleccionándose cada punto de interés si una distancia entre dicho punto de interés y el plano del suelo determinado para una imagen anterior de la secuencia es inferior a un umbral d_{sel} ,
- una etapa de determinación de un triplete de parámetros filtrados espacialmente a partir de puntos de interés, y
- una etapa de determinación de un triplete de parámetros filtrados temporalmente en función del indicador R_{3d} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia.

La invención tiene principalmente como ventaja que permite adaptar la determinación de un plano del suelo a cualquier tipo de entorno, cualquiera que sea la cantidad de zonas con textura en la imagen, la rugosidad y lo plano que sea el suelo, y la evolución de su inclinación.

Ventajosamente, el procedimiento según la invención comprende igualmente una etapa de determinación de un indicador R_{pl} para la imagen de profundidad en curso, siendo dicho indicador función del número de puntos en dicha imagen cuya distancia al plano del suelo definido por el triplete de parámetros filtrados espacialmente es inferior a una distancia d_p predeterminada, y del número de puntos válidos en esta imagen. De ese modo, la etapa de determinación del triplete de parámetros filtrados temporalmente puede depender también del indicador R_{pl} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia.

La etapa de determinación del triplete de parámetros filtrados temporalmente incluye por ejemplo una subetapa de determinación de un parámetro de innovación K , siendo dicho parámetro:

- igual a cero si el indicador R_{3d} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia es inferior a un umbral predeterminado S_{3d} , o si el indicador R_{pl} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia es inferior a un umbral predeterminado S_{pl} ,
- igual al valor del indicador R_{pl} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia, menos el valor del umbral predeterminado S_{pl} si no.

Cada parámetro filtrado temporalmente V_t puede entonces determinarse en función del parámetro de innovación K , del parámetro filtrado temporalmente determinado para la imagen precedente de la secuencia V_{t-1} , y del parámetro

filtrado espacialmente determinado para la imagen de profundidad en curso de la secuencia V_s .

Más precisamente, cada parámetro filtrado temporalmente V_t puede determinarse por la relación $V_t = V_{t-1} \cdot (1 - K) + V_s \cdot K$.

5 Según una forma particular de realización, la etapa de determinación de un triplete de parámetros filtrados espacialmente comprende:

- una subetapa de determinación de varios tripletes de parámetros a partir del conjunto de puntos de interés, y
- una subetapa de selección, para cada tipo de parámetro, de los parámetros cuyo valor está comprendido en un intervalo de validez parametrizable, estando centrado el intervalo de validez de cada tipo de parámetro en el valor de este parámetro determinado para una imagen anterior de la secuencia y determinándose su amplitud en función del indicador R_{pl} determinado para una imagen anterior de la secuencia, y del indicador R_{3d} determinado para la imagen en curso o para una imagen anterior de la secuencia.

La subetapa de determinación de varios tripletes de parámetros comprende por ejemplo las subetapas siguientes:

- determinación pseudoaleatoria de varios tripletes de puntos en el conjunto de puntos de interés,
- determinación, para cada triplete de puntos, de un triplete de parámetros que define un plano del suelo que pasa por los tres puntos.

La etapa de determinación de un triplete de parámetros filtrados espacialmente puede comprender, además:

- una subetapa de determinación, para cada tipo de parámetro, de un parámetro medio cuyo valor es igual a un valor medio de los parámetros seleccionados, definiendo dichos parámetros medios un plano del suelo medio P_m ,
- una subetapa de selección de un conjunto de puntos de cálculo entre los puntos de interés, siendo los puntos de cálculo los puntos de interés cuya distancia con el plano del suelo medio P_m es inferior a una distancia predeterminada d_g ,
- una subetapa de determinación del triplete de parámetros filtrados espacialmente a partir de los puntos de cálculo.

25 El triplete de parámetros filtrados espacialmente puede determinarse principalmente mediante el procedimiento de mínimos cuadrados aplicado a las distancias entre los puntos de cálculo y el plano del suelo medio P_m .

Según una forma particular de realización, la amplitud del intervalo de validez de cada parámetro es:

- incrementado si el indicador R_{pl} determinado para una imagen anterior de la secuencia es inferior a un umbral S_{pl2} predeterminado y si el indicador R_{3d} determinado para la imagen en curso o para una imagen anterior de la secuencia es superior a un umbral S_{3d2} predeterminado,
- disminuido si el indicador R_{pl} determinado para una imagen anterior de la secuencia es superior al umbral S_{pl2} predeterminado, y
- inalterado si no.

La disminución y el incremento de la amplitud del intervalo de validez pueden estar limitados.

35 Según una forma particular de realización, el umbral d_{sel} a partir del que se determina el conjunto de los puntos de interés es función del criterio R_{pl} determinado para varias imágenes anteriores de la secuencia. Los puntos válidos de la imagen de profundidad en curso se seleccionan entonces como puntos de interés si el criterio R_{pl} determinado para varias imágenes anteriores de la secuencia es inferior a un umbral S_{sel} predeterminado.

40 El procedimiento puede comprender una etapa suplementaria de determinación de un indicador Q_p , representativo de la calidad del plano del suelo determinado para la imagen de profundidad en curso, determinándose dicho indicador Q_p en función de los indicadores R_{3d} y R_{pl} determinados para la imagen de profundidad en curso.

En particular, el indicador Q_p puede determinarse mediante la relación

$$Q_p = \frac{R_{pl}}{1 + \exp(g \cdot (S_{3d} - R_{3d}))}$$

en la que g es un número real comprendido entre 10 y 100, y S_{3d} es un umbral predeterminado.

45 El indicador R_{pl} de una imagen de profundidad es por ejemplo igual al número de puntos en dicha imagen cuya distancia al plano del suelo definido por el triplete de parámetros filtrados espacialmente es inferior a la distancia d_p predeterminada, sobre el número de puntos válidos en esta imagen. El indicador R_{3d} de una imagen de profundidad puede por su parte ser igual al número de puntos válidos en esta imagen sobre el número total de puntos en esta imagen.

La invención se comprenderá mejor y surgirán otras ventajas con la lectura de la descripción que sigue a continuación, realizada en relación con los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 representa esquemáticamente un ejemplo de sistema que permite implementar el procedimiento de determinación de un plano del suelo según la invención;
- 5 - la figura 2 representa un ejemplo de etapas implementadas en el procedimiento de determinación de un plano del suelo según la invención;
- la figura 3 representa un ejemplo particular de realización de la etapa de determinación del triplete de parámetros filtrados temporalmente;
- 10 - la figura 4 representa un ejemplo de realización de la etapa de determinación de un triplete de parámetros filtrados espacialmente.

En el marco de la invención, se busca determinar el plano del suelo, por ejemplo una carretera, en una referencia tridimensional a partir de una imagen digital. Esta imagen digital puede ser una imagen de disparidad, igualmente denominada mapa de disparidad o una imagen de profundidad. Una imagen de disparidad es una imagen obtenida mediante un tratamiento de imágenes a partir de dos imágenes estereoscópicas, es decir de las imágenes procedentes de dos cámaras de video que observan una misma escena. Las cámaras de video están orientadas de manera sustancialmente idéntica, pero están situadas a una distancia entre sí. De ese modo, los ejes ópticos de las dos cámaras son sustancialmente paralelos. Si ese fuera el caso, se realiza una corrección para convertir los ejes ópticos en paralelos. El procesamiento de la imagen consiste en determinar los pares de puntos correspondientes en las dos imágenes. La disparidad de un punto se define entonces como la diferencia de posición entre el punto en la imagen de la primera cámara, considerada como imagen de referencia, y este mismo punto en la imagen de la segunda cámara. A partir de la información de disparidad d , y conociendo la distancia B entre las dos cámaras y su distancia focal f , es posible determinar la profundidad p del punto considerado mediante la fórmula $p = B \cdot f / d$. La imagen que contiene estas informaciones de profundidad se denomina imagen de profundidad. En lo que sigue de la descripción, se considera que la imagen de profundidad a partir de la que se determina el plano del suelo procede de imágenes estereoscópicas. Sin embargo, la imagen de profundidad podría obtenerse igualmente asociando a una cámara de video un captador de distancia adecuado para proporcionar una información de profundidad para al menos una parte de los puntos en la imagen.

En lo que sigue de la descripción, se considera también que la determinación de un plano es equivalente a la determinación de un triplete de parámetros. En efecto, cualquier plano puede definirse en una referencia tridimensional mediante tres parámetros independientes entre sí. En una referencia cartesiana por ejemplo, un plano puede modelizarse mediante la ecuación $A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D = 0$, es decir, tras la normalización, $A' \cdot x + B' \cdot y + C' \cdot z + 1 = 0$. Los parámetros son entonces A' , B' y C' . En una referencia esférica, puede representarse también un plano mediante tres parámetros independientes, por ejemplo una distancia y dos ángulos. Se considera igualmente que el plano se determina en una referencia ligada a la cámara que proporciona la imagen de referencia, siendo el origen de esta referencia el centro óptico de esta cámara, y que los parámetros que definen el plano del suelo son la altura h de una de las cámaras con relación al suelo, el ángulo θ formado entre el eje óptico de esta cámara y el plano del suelo, y el ángulo φ formado entre el plano del suelo y el eje que pasa por los centros ópticos de las dos cámaras.

La figura 1 representa esquemáticamente un ejemplo de sistema que permite implementar el procedimiento de determinación de un plano del suelo a partir de una imagen de profundidad tomada en una secuencia de imágenes. El procedimiento podría apoyarse igualmente sobre una imagen de disparidad, tal como la representada en la figura 1, en la medida en que la relación entre la información de disparidad y la de profundidad es biyectiva. En particular, esta relación es lineal, lo que implica principalmente que un plano en la imagen de disparidad es también un plano en la imagen de profundidad. El sistema 10 comprende un módulo 11 de selección de puntos tridimensionales (3D), un módulo 12 de cálculo del plano del suelo, un módulo 13 de filtrado temporal y un módulo 14 de control del sistema. El módulo 11 recibe las imágenes de profundidad y selecciona en cada imagen un conjunto de N puntos de interés, indicados por $\{x_i, y_i, z_i\}_{i \in [1, N]}$, que transfiere al módulo 12. El módulo 12 determina para cada imagen de profundidad un plano del suelo a partir de los puntos de interés. En particular, el módulo 12 determina para cada imagen un triplete de parámetros que definen un plano del suelo. La determinación de un triplete de parámetros incluye unas etapas de filtrado espacial, como se explica con detalle en el presente documento a continuación. En consecuencia, el triplete de parámetros procedentes del módulo 12 se denomina triplete de parámetros filtrados espacialmente, y se indica por $\{\theta, \varphi, h\}_s$. El triplete de parámetros $\{\theta, \varphi, h\}_s$ se transfiere al módulo 13, que determina un nuevo triplete de parámetros que definen un plano del suelo. Esta determinación del nuevo triplete de parámetros incluye una etapa de filtrado temporal. El nuevo triplete de parámetros procedente del módulo 13 se denomina triplete de parámetros filtrados temporalmente, y se indica por $\{\theta, \varphi, h\}_t$. Más precisamente, el módulo 13 determina el nuevo triplete de parámetros $\{\theta, \varphi, h\}_t$ a partir del triplete de parámetros $\{\theta, \varphi, h\}_s$ determinado para la imagen en curso de la secuencia, y del triplete de parámetros $\{\theta, \varphi, h\}_{t-1}$ determinado por el módulo 13 para la imagen precedente de la secuencia. Un módulo 15 de retardo representa la reinyección del triplete de parámetros $\{\theta, \varphi, h\}_t$ para la imagen siguiente de la secuencia. Para una imagen de profundidad en curso, el triplete de parámetros $\{\theta, \varphi, h\}_t$ corresponde al triplete de parámetros finalmente estimado.

El procedimiento de determinación de un plano del suelo que forma el objeto de la invención implica por un lado un filtrado espacial de los puntos de la imagen que sirven para la determinación de los parámetros del plano del suelo y/o un filtrado espacial de estos parámetros y, por otro lado, un filtrado temporal de los parámetros del plano del

suelo. Se caracteriza esencialmente porque el filtrado temporal de los parámetros es función de un indicador R_{3d} representativo de la calidad de los datos disponibles para la determinación del plano del suelo. Ventajosamente, el filtrado temporal de los parámetros es también función de un indicador R_{pl} representativo de la calidad del plano del suelo determinado tras el filtrado espacial. Igualmente, el filtrado espacial puede parametrizarse también en función de los indicadores R_{3d} y R_{pl} . De ese modo, el filtrado espacial y el filtrado temporal pueden adaptarse en función de la calidad de los datos disponibles y de la calidad de los planos del suelo determinados previamente para las diferentes imágenes de la secuencia. Más generalmente, la invención pone en práctica la idea según la que cuanto más permite el plano estimado para una imagen de profundidad “explicar” los puntos de esta imagen, más podrán determinarse con precisión los planos de las imágenes siguientes. En particular, para el filtrado espacial, esto implica una búsqueda del plano del suelo en un espacio más limitado y, para el filtrado temporal, que es menos importante tener en cuenta unos planos del suelo estimados previamente.

La figura 2 representa un ejemplo de etapas implementadas en el procedimiento de determinación de un plano del suelo según la invención. En una primera etapa 21, se seleccionan los puntos de la imagen de profundidad en curso cuya distancia con el origen de la referencia tridimensional está comprendida entre una distancia mínima D_{min} y una distancia máxima D_{max} . Estos puntos se denominan puntos válidos. El origen de la referencia corresponde por ejemplo al centro del plano de imagen de la imagen de profundidad, o al centro óptico de una de las cámaras. Para las zonas de la imagen con muy poca textura, no puede determinarse la información de profundidad. Por convención, la profundidad de estos puntos se fija generalmente al valor infinito, o al valor máximo que puede cuantificarse. Estos puntos no son considerados por tanto como válidos. Por otro lado, se considera que los puntos más alejados poseen una información de distancia insuficiente para poder ser tenidos en cuenta en la determinación del plano del suelo. Finalmente, los puntos de la imagen cuya distancia es relativamente reducida corresponden en general a unos obstáculos, por ejemplo unos peatones. Los puntos más próximos y más alejados no son por tanto tenidos en cuenta para la determinación del plano del suelo. A título de ejemplo, las distancias mínima y máxima tienen unos valores de 1 metro (m) y 5 m, respectivamente. En una segunda etapa 22, se determina el indicador R_{3d} para la imagen de profundidad en curso. Este indicador se determina en función del número de puntos válidos en la imagen de profundidad en curso, y del número total de puntos en esta imagen. Es igual por ejemplo a la relación del número de puntos válidos en la imagen de profundidad en curso, sobre el número total de puntos en esta imagen. El indicador R_{3d} permite de ese modo estimar la calidad de los datos 3D o, más precisamente, la proporción de puntos de la imagen potencialmente útiles para la determinación del plano del suelo. En una tercera etapa 23, se seleccionan, entre los puntos válidos, un conjunto de puntos de interés en la imagen de profundidad en curso. Se selecciona un punto de interés si una distancia entre este punto y el plano del suelo determinada para la imagen precedente de la secuencia es inferior a una distancia umbral d_{sel} . Por distancia entre un punto y un plano, se entiende la altura del punto con relación al plano. El plano del suelo considerado puede determinarse también a partir de los planos determinados para varias imágenes anteriores de la secuencia. Se trata por ejemplo de una media de los planos del suelo determinados para las imágenes precedentes de la secuencia. El valor de la distancia umbral es por ejemplo igual a 0,3 m. La etapa 23 permite eliminar los puntos de la imagen que no pertenecen a priori al plano del suelo, tales como los puntos que representan unos paneles de señalización o unos peatones. En una cuarta etapa 24, se determina el triplete de parámetros filtrados espacialmente $\{\theta, \varphi, h\}_s$ a partir del conjunto de puntos de interés. Este triplete de parámetros define un plano del suelo filtrado espacialmente P_s . Se detalla en el presente documento a continuación un ejemplo de realización de la etapa 24. En una etapa 25, se determina el indicador R_{pl} para la imagen de profundidad en curso. Este indicador R_{pl} es función del número de puntos en la imagen cuya distancia al plano del suelo P_s es inferior a una distancia d_p predeterminada, y del número de puntos válidos en esta imagen. Es igual por ejemplo a la relación del número de puntos en la imagen cuya distancia al plano del suelo P_s es inferior a la instancia d_p predeterminada, sobre el número de puntos válidos en esta imagen. El valor de la distancia d_p es por ejemplo igual a 0,1 m. El indicador R_{pl} permite así estimar la calidad del plano del suelo P_s determinado o, más precisamente, la proporción entre el número de puntos de la imagen próximos al plano P_s , y el número de puntos de la imagen potencialmente útiles para su determinación. En una etapa 26, se determina el triplete de parámetros filtrados temporalmente $\{\theta, \varphi, h\}_t$ para la imagen de profundidad en curso a partir del triplete de parámetros $\{\theta, \varphi, h\}_s$ determinado para esta imagen, del triplete de parámetros filtrados temporalmente $\{\theta, \varphi, h\}_{t-1}$ determinado para una imagen anterior de la secuencia y el indicador R_{3d} determinado para el imagen en curso o para una imagen anterior de la secuencia. El triplete de parámetros $\{\theta, \varphi, h\}_{t-1}$ es por ejemplo el determinado para la imagen precedente de la secuencia. El triplete de parámetros filtrados temporalmente $\{\theta, \varphi, h\}_t$ define un plano del suelo filtrado temporalmente P_t . Según una forma de realización particularmente ventajosa, el plano del suelo P_t se determina igualmente en función del indicador R_{pl} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia.

Según una forma particular de realización, la distancia umbral d_{sel} es función del criterio R_{pl} determinado para varias imágenes anteriores de la secuencia. En particular, el criterio R_{pl} determinado para cada una de las imágenes precedentes de la secuencia es inferior a un umbral predeterminado S_{sel} , entonces el conjunto de los puntos válidos de la imagen de profundidad en curso pueden seleccionarse como puntos de interés. Dicho de otra manera, se desactiva el filtrado de los puntos válidos. El número de imágenes para el que se desactiva el filtrado de los puntos válidos corresponde por ejemplo a una duración del orden de 1 o 2 segundos. El filtrado de los puntos válidos puede activarse de nuevo cuando el criterio R_{pl} sobrepasa el umbral S_{sel} .

La figura 3 representa un ejemplo particular de realización de la etapa 26 de determinación del triplete $\{\theta, \varphi, h\}_t$. En este ejemplo, se considera que cada parámetro θ, φ, h es filtrado individualmente. Se indica por V_t uno de los parámetros del triplete $\{\theta, \varphi, h\}_t$, V_{t-1} el parámetro del mismo tipo en el triplete $\{\theta, \varphi, h\}_{t-1}$ determinado para la imagen precedente de la secuencia, y V_s el parámetro del mismo tipo en el triplete $\{\theta, \varphi, h\}_s$. Se considera un umbral predeterminado S_{3d} y un umbral predeterminado S_{pl} . En una primera subetapa 261, se determina un parámetro de innovación K . Si el indicador R_{3d} determinado para la imagen de profundidad en curso es inferior al umbral S_{3d} , entonces el valor del parámetro de innovación K se fija en cero. A la inversa, si el indicador R_{3d} es superior al umbral S_{3d} , entonces el valor del parámetro de innovación se determina en función del indicador R_{pl} . Si el indicador R_{pl} es inferior al umbral S_{pl} , entonces el valor del parámetro de innovación K se fija en cero. Si el indicador R_{pl} es superior al umbral S_{pl} , entonces el valor del parámetro de innovación se fija para que sea igual al valor del indicador R_{pl} , menos el valor del umbral S_{pl} ($K = R_{pl} - S_{pl}$). En una segunda subetapa 262, se determina cada parámetro V_t en función del parámetro V_{t-1} correspondiente, del parámetro V_s correspondiente y del parámetro de innovación K . La relación que permite determinar los parámetros V_t puede tomar diversas formas. Puede principalmente ser lineal o no, ser continua o no. A título de ejemplo, puede utilizarse la relación siguiente:

$$V_t = V_{t-1} \cdot (1 - K) + V_s \cdot K.$$

De ese modo, el valor de cada parámetro no se actualiza para una imagen de la secuencia más que si esta imagen dispone de suficientes puntos válidos, y si se encuentra un número significativo de puntos válidos en la proximidad del plano P_s determinado para esta imagen. El umbral S_{3d} puede tomar por ejemplo el valor 0,2 y el umbral S_{pl} el valor 0,1.

Según una forma particular de realización, si el indicador R_{3d} permanece inferior al umbral S_{3d} para un número predeterminado de imágenes anteriores de la secuencia, entonces el triplete de parámetros filtrados temporalmente $\{\theta, \varphi, h\}_t$ se reinicializa con unos parámetros iniciales θ_0, φ_0 y h_0 . Estos parámetros iniciales θ_0, φ_0 y h_0 se determinan previamente a la implementación del procedimiento de determinación del plano del suelo.

La etapa 24 de determinación del triplete de parámetros filtrados espacialmente $\{\theta, \varphi, h\}_s$ puede ser igualmente función del indicador R_{3d} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia, y/o del indicador R_{pl} determinado para una imagen anterior de la secuencia. La figura 4 representa un ejemplo de ese tipo de realización de la etapa 24 de determinación del triplete de parámetros filtrados espacialmente $\{\theta, \varphi, h\}_s$. En una primera subetapa 241, se determinan varios tripletes de parámetros a partir del conjunto de puntos de interés. Más precisamente, la subetapa 241 comprende por ejemplo las etapas siguientes. En una etapa 2411, se determinan de manera pseudoaleatoria M tripletes de puntos en el conjunto de puntos de interés. En una segunda etapa 2412, se determina, para cada triplete de puntos, un triplete de parámetros $\{\theta, \varphi, h\}_j$ que define un plano del suelo P_j que pasa por los tres puntos, en el que j es un entero comprendido entre 1 y M . En una segunda subetapa 242, dichos tripletes de parámetros se filtran espacialmente en función de los indicadores R_{pl} y R_{3d} . Dicho de otra manera, los parámetros se seleccionan o no en función de su valor y de los indicadores R_{pl} y R_{3d} . La subetapa 242 utiliza por ejemplo unos intervalos de validez parametrizables, asociándose un intervalo de validez a cada tipo de parámetro. El intervalo de validez de un tipo de parámetros se centra sobre el valor del parámetro considerado determinado para una imagen anterior de la secuencia, por ejemplo la imagen precedente de la secuencia. Para la primera imagen de la secuencia, es posible considerar los parámetros iniciales θ_0, φ_0 y h_0 . La amplitud del intervalo se determina en función del indicador R_{pl} determinado para una imagen anterior de la secuencia, y del indicador R_{3d} determinado para la imagen en curso o para una imagen anterior de la secuencia. A título de ejemplo, se consideran unas amplitudes de intervalos iniciales $\Delta\theta_0, \Delta\varphi_0$ y Δh_0 . Estas amplitudes de intervalo se asocian a la primera imagen de la secuencia. Con cada nueva imagen, la amplitud de los intervalos puede incrementarse o disminuirse en función de los indicadores R_{pl} y R_{3d} . Por ejemplo, las amplitudes de los intervalos se incrementan en el 20% si el indicador R_{pl} es inferior a un umbral S_{pl2} y si el indicador R_{3d} es superior a un umbral S_{3d2} . Se disminuyen en el 20% si el indicador R_{pl} es superior al umbral S_{pl2} , y se deja inalterado si no. Además, la variación de las amplitudes de los intervalos puede estar limitada. El incremento está limitado por ejemplo al 150% de los valores de los intervalos iniciales $\Delta\theta_0, \Delta\varphi_0$ y Δh_0 , y la disminución al 70% de estas amplitudes de intervalo. Los parámetros cuyo valor está comprendido en el intervalo de validez correspondiente se denominan parámetros seleccionados. En una tercera subetapa 243, se determina un parámetro medio θ_m, φ_m y h_m para cada tipo de parámetro. Estos parámetros medios definen un plano del suelo medio P_m . El valor de cada parámetro medio θ_m, φ_m y h_m es una media de los valores de los parámetros seleccionados. Se trata por ejemplo de una media aritmética o cuadrática. Según una forma particular de realización, se construye un histograma para cada tipo de parámetro. Un histograma incluye unas clases cuya amplitud corresponde a un intervalo de valores para el parámetro considerado. Cada parámetro del triplete $\{\theta, \varphi, h\}_j$ se clasifica en una de las clases del histograma. La etapa 242 de filtrado espacial consiste entonces en aplicar los intervalos de validez sobre los histogramas, definiendo cada intervalo de validez un límite inferior y un límite superior, y en no conservar más que los tripletes de parámetros $\{\theta, \varphi, h\}_j$ para los que los tres parámetros están comprendidos en los intervalos de validez. La subetapa 243 consiste en tomar en cada histograma un valor medio de la clase que incluye el máximo de incidencias. En una cuarta subetapa 244, se selecciona un conjunto de puntos de cálculo entre los puntos de interés. La determinación de los puntos de cálculo consiste en seleccionar los puntos de interés cuya distancia con el plano del suelo medio P_m es inferior a una distancia predeterminada d_g . Esta distancia es, por ejemplo, la misma que la distancia d_p . En una quinta subetapa 245, se determina el triplete de los parámetros filtrados espacialmente $\{\theta, \varphi, h\}_s$ a partir de los puntos de cálculo. Según una forma particular de realización, el triplete $\{\theta, \varphi, h\}_s$ se determina mediante el procedimiento de los mínimos cuadrados aplicado a las

distancias entre los puntos de cálculo y el plano del suelo medio P_m .

El sistema representado en la figura permite implementar el procedimiento según la invención. En particular, la etapa 21 de selección de puntos válidos, la etapa 22 de determinación del indicador R_{3d} , y la etapa 23 de selección de puntos válidos pueden realizarse por el módulo 11; la etapa 24 de determinación del triplete de parámetros filtrados espacialmente $\{\theta, \varphi, h\}_s$ y la etapa 25 de determinación del indicador R_{pl} pueden realizarse por el módulo 12; y la etapa 26 de determinación del triplete de parámetros filtrados temporalmente $\{\theta, \varphi, h\}_t$ puede realizarse por el módulo 13. Las etapas 23, 24 y 26 pueden ser dependientes de los indicadores R_{3d} y R_{pl} . Esta dependencia se representa en la figura 1 mediante unas flechas 141, 142 y 143 que van del módulo 14 de control a los módulos 11, 12 y 13, respectivamente. Por otro lado, la determinación del indicador R_{3d} depende de la etapa 21, y la del indicador R_{pl} depende de las etapas 21 y 24. Estas dependencias se representan mediante las flechas 144 y 145 que van desde los módulos 11 y 12, respectivamente, hacia al módulo 14 de control.

El sistema que permite poner en práctica el procedimiento según la invención puede implementarse a partir de elementos materiales y/o de software. El procedimiento según la invención puede, en particular, ser puesto en práctica en tanto que programa de ordenador que incluye unas instrucciones para su ejecución. El programa de ordenador puede estar registrado en un soporte de registro legible por un procesador.

El procedimiento de determinación de un plano del suelo se refiere igualmente a proporcionar un indicador Q_p representativo de la calidad del plano del suelo determinado para la imagen de profundidad en curso. Este indicador Q_p se determina en función de los indicadores R_{3d} y R_{pl} determinados para la imagen de profundidad en curso. Se define por ejemplo mediante la relación siguiente:

$$Q_p = R_{pl} \cdot \text{sig}(R_{3d})$$

en la que $\text{sig}(x)$ es una función sigmoide modificada definida como sigue:

$$\text{sig}(x) = \frac{1}{1 + \exp(g \cdot (S_{3d} - x))}$$

siendo g un número real comprendido entre 10 y 100. Este parámetro g permite controlar la sensibilidad del indicador Q_p en función del número de puntos válidos. El indicador Q_p puede utilizarse en unos tratamientos de imagen más adelante de la determinación del plano del suelo. A título de ejemplo, si la determinación del plano del suelo es seguida por un tratamiento de búsqueda de obstáculos puestos sobre el suelo, este tratamiento puede adaptarse en función del indicador Q_p . Si su valor es relativamente reducido, se podrían buscar los obstáculos con un margen mayor de un lado y otro del plano del suelo. A la inversa, si el valor del indicador Q_p es relativamente grande, el margen puede reducirse, mejorando de ese modo la duración del tratamiento de búsqueda de obstáculos.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de determinación de un triplete de parámetros que definen un plano del suelo en una referencia tridimensional a partir de una imagen de profundidad tomada en una secuencia de imágenes, **caracterizado porque** comprende:

- 5 ▪ una etapa (21) de selección de puntos válidos en la imagen de profundidad en curso, siendo los puntos válidos los puntos de la imagen cuya distancia a un punto de *origen* de la referencia tridimensional está comprendida entre una distancia mínima predeterminada y una distancia máxima predeterminada,
- 10 ▪ una etapa (22) de determinación de un indicador R_{3d} para la imagen de profundidad en curso, siendo dicho indicador función del número de puntos válidos en la imagen de profundidad en curso y del número total de puntos en esta imagen,
- 15 ▪ una etapa (23) de selección de un conjunto de puntos de interés en la imagen de profundidad en curso, seleccionándose cada punto de interés si una distancia entre dicho punto de interés y el plano del suelo determinado para una imagen anterior de la secuencia es inferior a un umbral d_{sel} ,
- una etapa (24) de determinación de un triplete de parámetros filtrados espacialmente a partir de puntos de interés, y
- una etapa (26) de determinación de un triplete de parámetros filtrados temporalmente en función del indicador R_{3d} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia.

2. Procedimiento según la reivindicación 1 que comprende, además, una etapa (25) de determinación de un indicador R_{pl} para la imagen de profundidad en curso, siendo dicho indicador función del número de puntos en dicha imagen cuya distancia al plano del suelo definido por el triplete de parámetros filtrados espacialmente es inferior a una distancia d_p predeterminada y del número de puntos válidos en esta imagen, siendo también la etapa (26) de determinación del triplete de parámetros filtrados temporalmente función del indicador R_{pl} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que la etapa (26) de determinación del triplete de parámetros filtrados temporalmente incluye una subetapa (261) de determinación de un parámetro de innovación K , siendo dicho parámetro:

- 30 ▪ igual a cero si el indicador R_{3d} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia es inferior a un umbral predeterminado S_{3d} , o si el indicador R_{pl} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia es inferior a un umbral predeterminado S_{pl} ,
- igual al valor del indicador R_{pl} determinado para la imagen de profundidad en curso o para una imagen anterior de la secuencia, menos el valor del umbral predeterminado S_{pl} si no,
- determinándose cada parámetro V_t filtrado temporalmente en función del parámetro K de innovación, del parámetro V_{t-1} filtrado temporalmente determinado para la imagen precedente de la secuencia, y del parámetro V_s filtrado espacialmente determinado para la imagen de profundidad en curso de la secuencia.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que cada parámetro V_t filtrado temporalmente se determina mediante la relación:

$$V_t = V_{t-1} \cdot (1 - K) + V_s \cdot K.$$

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 4, en el que la etapa (24) de determinación de un triplete de parámetros filtrados espacialmente comprende:

- 40 ▪ una subetapa (241) de determinación de varios tripletes de parámetros a partir del conjunto de puntos de interés, y
- una subetapa (242) de selección, para cada tipo de parámetro, de los parámetros cuyo valor está comprendido en un intervalo de validez parametrizable, estando el intervalo de validez de cada tipo de parámetro centrado en el valor de este parámetro determinado para una imagen anterior de la secuencia y determinándose su amplitud en función del indicador R_{pl} determinado para una imagen anterior de la secuencia y del indicador R_{3d} determinado para la imagen en curso o para una imagen anterior de la secuencia.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que la subetapa (241) de determinación de varios tripletes de parámetros comprende las subetapas siguientes:

- 50 ▪ determinación (2411) pseudoaleatoria de varios tripletes de puntos en el conjunto de puntos de interés,
- determinación (2412), para cada triplete de puntos, de un triplete de parámetros que definen un plano del suelo que pasa por los tres puntos.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 5 y 6, en el que la etapa (24) de determinación de un triplete de parámetros filtrados espacialmente comprende, además:

- 55 ▪ una subetapa (243) de determinación, para cada tipo de parámetro, de un parámetro medio cuyo valor es igual a un valor medio de los parámetros seleccionados, definiendo dichos parámetros medios un plano del suelo

medio P_m ,

- una subetapa (244) de selección de un conjunto de puntos de cálculo entre los puntos de interés, siendo los puntos de cálculo los puntos de interés cuya distancia con el plano del suelo medio P_m es inferior a una distancia predeterminada d_g ,
- una subetapa (245) de determinación del triplete de parámetros filtrados espacialmente a partir de los puntos de cálculo.

5 8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que el triplete de parámetros filtrados espacialmente se determina mediante el procedimiento de mínimos cuadrados aplicado a las distancias entre los puntos de cálculo y el plano del suelo medio P_m .

10 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 5 a 8, en el que la amplitud del intervalo de validez de cada parámetro es:

- incrementado si el indicador R_p determinado para una imagen anterior de la secuencia es inferior a un umbral S_{p12} predeterminado y si el indicador R_{3d} determinado para la imagen en curso o para una imagen anterior de la secuencia es superior a un umbral S_{3d2} predeterminado,
- disminuido si el indicador R_{pl} determinado para una imagen anterior de la secuencia es superior al umbral S_{p12} predeterminado, y
- inalterado si no.

15 10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que la disminución y el incremento de la amplitud del intervalo de validez pueden estar limitados.

20 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 10, en el que el umbral d_{sel} es función del criterio R_{pl} determinado para varias imágenes anteriores de la secuencia, seleccionándose los puntos válidos de la imagen de profundidad en curso como puntos de interés si el criterio R_{pl} determinado para varias imágenes anteriores de la secuencia es inferior a un umbral S_{sel} predeterminado.

25 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 11, que comprende una etapa suplementaria de determinación de un indicador Q_p , representativo de la calidad del plano del suelo determinado para la imagen de profundidad en curso, determinándose dicho indicador Q_p en función de los indicadores R_{3d} y R_{pl} determinados para la imagen de profundidad en curso.

30 13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que el indicador Q_p se determina mediante la relación

$$Q_p = \frac{R_{pl}}{1 + \exp(g \cdot (S_{3d} - R_{3d}))}$$

35 en la que g es un número real comprendido entre 10 y 100, y S_{3d} es un umbral predeterminado.

40 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 13, en el que el indicador R_{pl} de una imagen de profundidad es igual al número de puntos en dicha imagen cuya distancia al plano del suelo definido por el triplete de parámetros filtrados espacialmente es inferior a la distancia d_p predeterminada, sobre el número de puntos válidos en esta imagen.

45 15. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que el indicador R_{3d} de una imagen de profundidad es igual al número de puntos válidos en esta imagen sobre el número total de puntos en esta imagen.

16. Sistema (10) de determinación de un plano del suelo en una secuencia de imágenes **caracterizado porque** incluye unos medios (11, 12, 13, 14, 15) adaptados para implementar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 15.

40 17. Programa de ordenador que incluye unas instrucciones para la ejecución del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, cuando el programa es ejecutado por un procesador.

45 18. Soporte de registro legible por un procesador en el que está registrado un programa que incluye unas instrucciones para la ejecución del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, cuando el programa es ejecutado por un procesador.

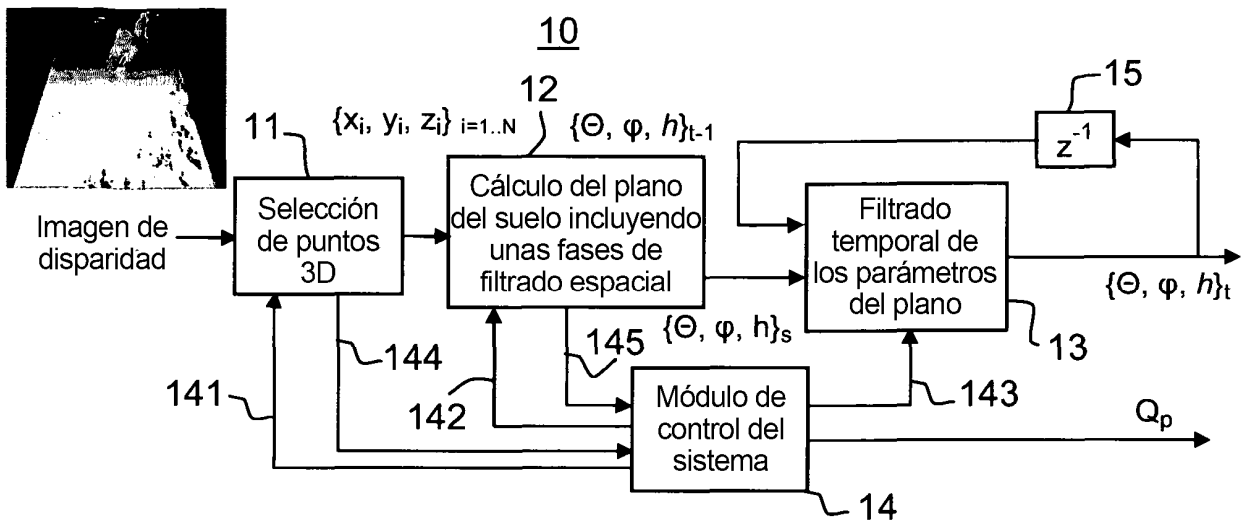


FIG.1

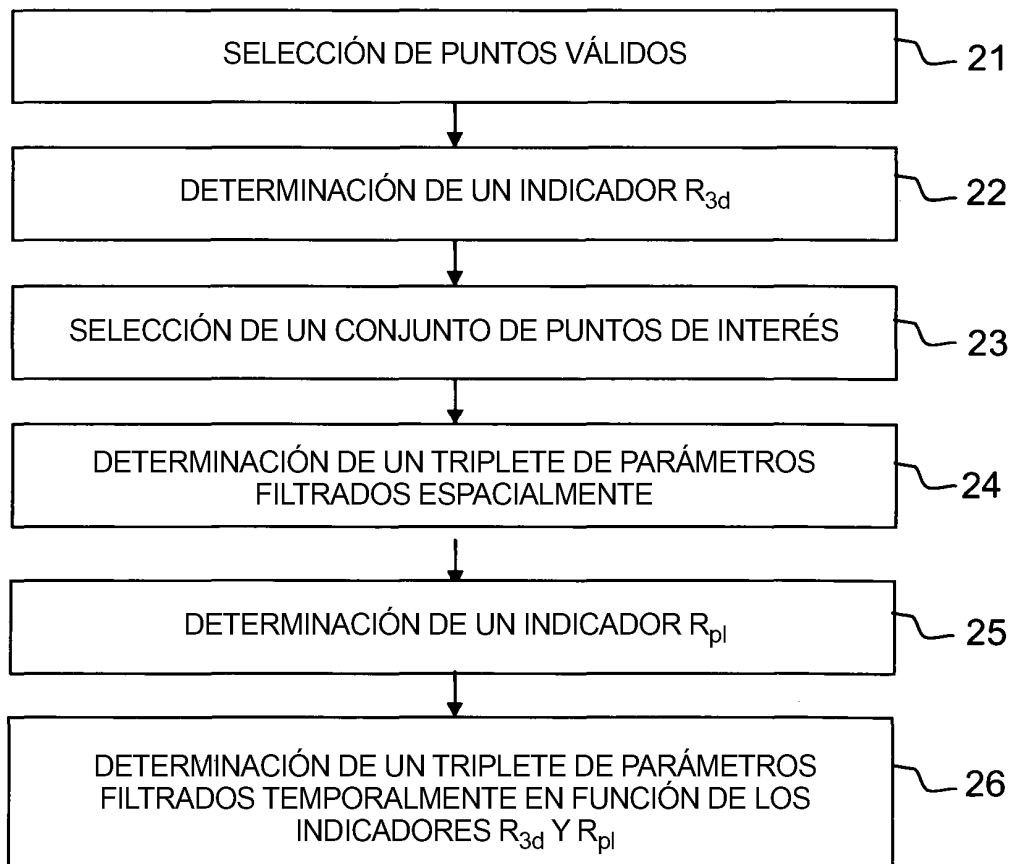


FIG.2

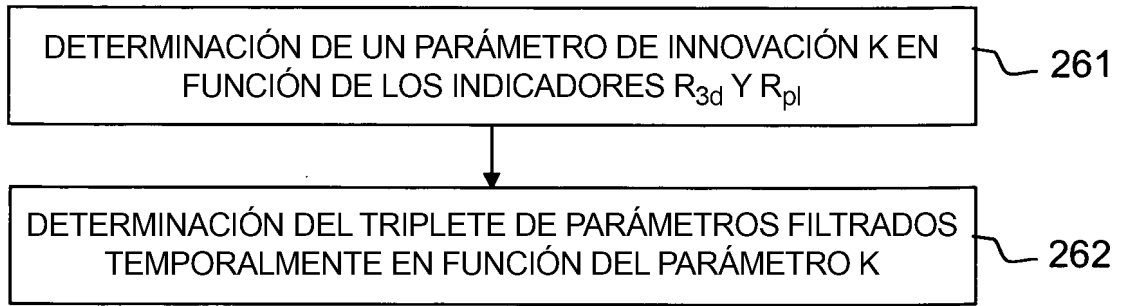


FIG.3

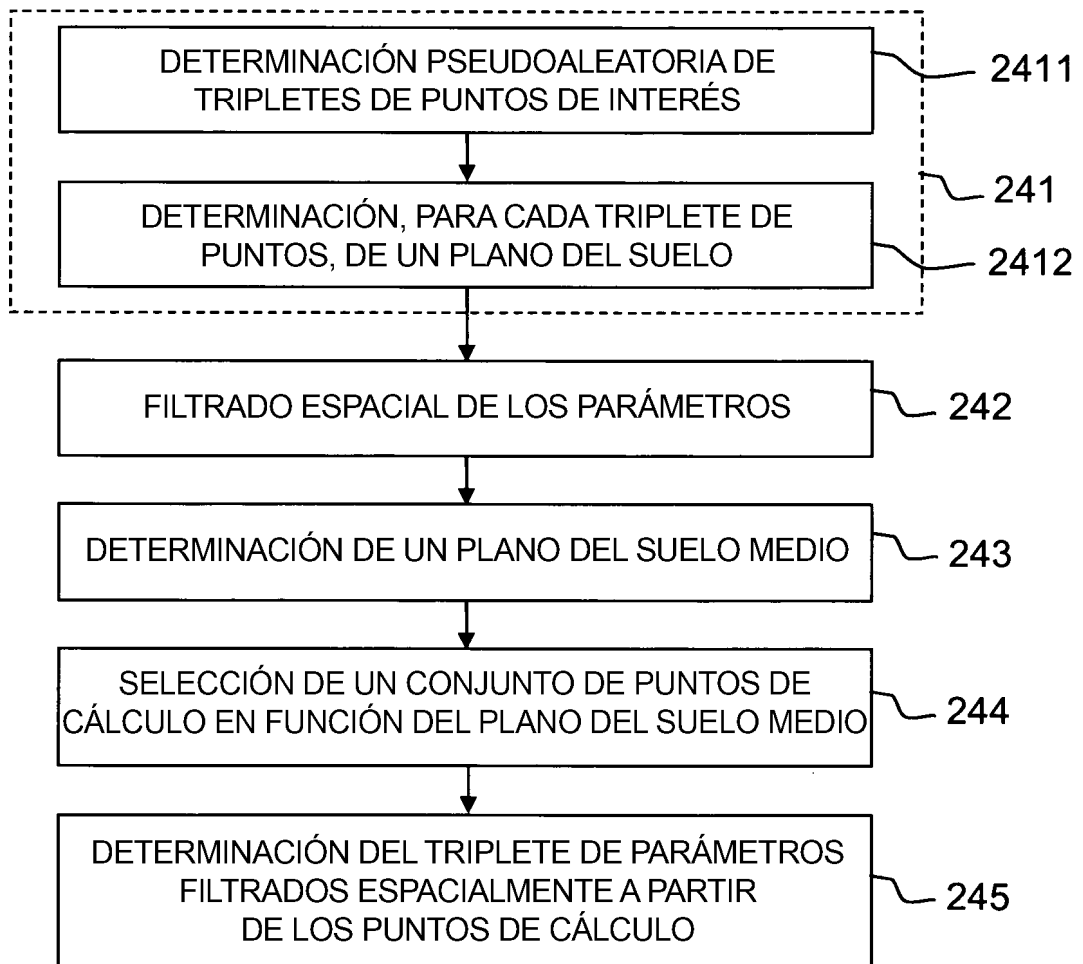


FIG.4