

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 980 219**

51 Int. Cl.:

G01C 7/04 (2006.01)

B60W 40/06 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.11.2019 PCT/JP2019/044051**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2020 WO20100784**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2019 E 19883588 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2024 EP 3882880**

54 Título: **Dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera, sistema de estimación de perfil de superficie de carretera, método de estimación de perfil de superficie de carretera y programa de estimación de perfil de superficie de carretera**

30 Prioridad:

13.11.2018 JP 2018213088

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

30.09.2024

73 Titular/es:

**THE UNIVERSITY OF TOKYO (100.0%)
3-1, Hongo 7-chome,
Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, JP**

72 Inventor/es:

**NAGAYAMA, TOMONORI;
XUE, KAI y
ZHAO, BOYU**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 980 219 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

Dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera, sistema de estimación de perfil de superficie de carretera, método de estimación de perfil de superficie de carretera y programa de estimación de perfil de superficie de carretera

Campo técnico

La presente invención se refiere a un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera, un sistema de estimación de perfil de superficie de carretera, un método de estimación de perfil de superficie de carretera y un programa de estimación de perfil de superficie de carretera.

Antecedentes de la invención

En la técnica relacionada, para evaluar la forma vertical de una superficie de carretera (en lo sucesivo, perfil de superficie de carretera), puede medirse la irregularidad de la superficie de carretera y calcularse un índice como el índice internacional de rugosidad (IRI). La información relativa al perfil de superficie de carretera puede utilizarse para determinar si ésta necesita reparación o para evaluar la comodidad durante el desplazamiento de un vehículo.

El documento de patente 1 descrito a continuación divulga un dispositivo de evaluación de la superficie de carretera que registra una velocidad angular de inclinación de un vehículo y la información del GPS de forma sincronizada entre sí, estima una respuesta de aceleración utilizando una respuesta de velocidad angular y una función de transferencia, y estima un índice de rugosidad internacional utilizando la respuesta de aceleración estimada y una función de correlación.

Lista de Citas

Documento tipo patente

Documento de Patente 1: Patente japonesa No. 6132304

La publicación de la solicitud WO 2018/199286 A1 tiene por objeto proporcionar un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera capaz de estimar con precisión un perfil de cualquier superficie de carretera, incluidas las carreteras ordinarias, utilizando un vehículo de uso general. Un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera está provisto de: una unidad de adquisición que adquiere una aceleración en dirección vertical y una velocidad angular relativa a un eje de inclinación; una primera unidad de cálculo que calcula un desplazamiento en dirección vertical y calcula un desplazamiento angular relativo al eje de inclinación; una unidad de predicción que predice la evolución temporal de una variable de estado de un vehículo sobre la base de un modelo de simulación; una segunda unidad de cálculo que calcula, a partir de la variable de estado, la aceleración, la velocidad angular, el desplazamiento y el desplazamiento angular sobre la base de un modelo de observación; una unidad de actualización que actualiza la variable de estado mediante la asimilación de datos entre la aceleración y la velocidad angular adquiridas por la unidad de adquisición, el desplazamiento y el desplazamiento angular calculados por la primera unidad de cálculo, y la aceleración, la velocidad angular, el desplazamiento y el desplazamiento angular calculados por la segunda unidad de cálculo; y una unidad de estimación que estima el perfil de superficie de carretera sobre la base de la variable de estado.

Breve descripción de la invención

Problema técnico

El perfil de superficie de carretera puede estimarse utilizando un modelo de simulación, como un modelo de cuarto de coche o un modelo de medio coche. Aquí, el modelo de simulación incluye una pluralidad de parámetros, como un parámetro que representa el momento de inercia de un vehículo y un parámetro que representa un coeficiente de amortiguación del amortiguador.

En la técnica relacionada, la pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación se han estimado a partir de la medición real de un vehículo o de una respuesta al subir por una joroba de forma conocida. Sin embargo, por ejemplo, el momento de inercia del vehículo no puede medirse fácilmente y, en el caso de que se utilice la respuesta al subir por una joroba de forma conocida, es difícil mantener constantes las condiciones experimentales, como la velocidad del vehículo, o la respuesta es diferente a la del desplazamiento real, por lo que puede producirse un error de estimación relativamente grande.

Por lo tanto, la presente invención proporciona un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera, un sistema de estimación de perfil de superficie de carretera, un método de estimación de perfil de superficie de carretera y un programa de estimación de perfil de superficie de carretera capaces de estimar un perfil de superficie de carretera y determinar también una pluralidad de parámetros incluidos en un modelo de simulación.

Solución al Problema

Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera tal como se define en la reivindicación 1.

- 5 Según el aspecto, los perfiles de superficie de carretera se estiman en la primera condición y en la segunda condición, y la pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación se determinan de forma que se reduzca la diferencia entre los perfiles de superficie de carretera estimados en ambas condiciones. Por lo tanto, la pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación puede determinarse junto con la estimación de perfiles de superficie de carretera.
- 10 En el aspecto anterior, la unidad de actualización puede actualizar una matriz de varianza-covarianza del ruido añadido a las variables de estado en el modelo de simulación y una matriz de varianza-covarianza del ruido añadido a los valores de observación de las magnitudes físicas en el modelo de observación sobre la base de una diferencia entre las magnitudes físicas adquiridas por la unidad de adquisición y las magnitudes físicas calculadas por la unidad de cálculo.
- 15 Según el aspecto, la matriz de varianza-covarianza del ruido añadido a las variables de estado en el modelo de simulación y la matriz de varianza-covarianza del ruido añadido a los valores de observación de las magnitudes físicas en el modelo de observación se actualizan dinámicamente. Por lo tanto, el perfil del firme de una carretera puede estimarse de forma estable eliminando la dependencia de los valores iniciales de las matrices de varianza-covarianza.
- 20 Según la invención, el modelo de simulación es un modelo de medio coche para el vehículo, el perfil de superficie de carretera estimado bajo la primera condición es un perfil de superficie de carretera estimado sobre la base de variables que representan un desplazamiento vertical y la velocidad de un neumático delantero del modelo de medio coche, el perfil de superficie de carretera estimado bajo la segunda condición es un perfil de superficie de carretera estimado sobre la
- 25 base de variables que representan un desplazamiento vertical y la velocidad de un neumático trasero del modelo de medio coche, y la función de evaluación incluye una diferencia entre una primera función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero y una segunda función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero.
- 30 Según el aspecto, una pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación pueden determinarse bajo la petición de que el perfil de superficie de carretera estimado sobre la base de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero y el perfil de superficie de carretera estimado sobre la base de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero deben coincidir entre sí.
- 35 En el aspecto anterior, la primera función puede ser una densidad espectral de potencia del perfil de superficie de carretera calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero, y la segunda función puede ser una densidad espectral de potencia del perfil de superficie de carretera calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero.
- 40 Según el aspecto, las densidades espectrales de potencia se comparan entre sí, y así es posible determinar la pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación sin corregir el hecho de que se estima que el perfil de superficie de carretera calculado a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero y el perfil de superficie de carretera calculado a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero se desvían en una longitud de distancia entre ejes.
- 45 En el aspecto anterior, la unidad de determinación puede realizar un análisis de regresión en el que un logaritmo de la densidad espectral de potencia calculado mediante el uso de valores candidatos para la pluralidad de parámetros se utiliza como variable dependiente y un logaritmo de una frecuencia se utiliza como variable independiente, y determinar si se emplean o no los valores candidatos en función de la comparación entre un coeficiente de determinación en el análisis de regresión y un valor umbral.
- 50 Según este aspecto, es posible determinar una pluralidad de parámetros con mayor precisión excluyendo un caso en el que un valor absoluto de la función de evaluación calculado utilizando los valores candidatos para la pluralidad de parámetros sea pequeño pero se desvíe de un valor verdadero.
- 55 En el aspecto anterior, la primera función puede ser un valor de variables que representa un desplazamiento vertical del neumático delantero en un punto temporal predeterminado, y la segunda función puede ser un valor de variables que representa un desplazamiento vertical del neumático trasero en un punto temporal obtenido sumando, al punto temporal predeterminado, un valor que se obtiene dividiendo una distancia del neumático delantero al neumático trasero por una velocidad del vehículo en el punto temporal predeterminado.
- 60 Según el aspecto, se corrige que la variable que representa el desplazamiento vertical del neumático delantero y la variable que representa el desplazamiento vertical del neumático trasero se estima que se desvían en una longitud de distancia entre ejes, y así se puede determinar una pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación.
- 65 En el aspecto anterior, la unidad de determinación puede determinar la pluralidad de parámetros utilizando un algoritmo genético.

Según este aspecto, los parámetros adecuados pueden determinarse eficazmente incluso en el caso de que el número de la pluralidad de parámetros aumente y resulte difícil realizar una búsqueda completa.

En el aspecto anterior, el modelo de simulación puede ser un modelo que represente la evolución temporal de las variables de estado utilizando la transformación lineal de las variables de estado y el ruido gaussiano, el modelo de observación puede ser un modelo para calcular los valores de observación de las magnitudes físicas utilizando la transformación lineal de las variables de estado y el ruido gaussiano, y la unidad de actualización puede actualizar las variables de estado de forma que se minimice un error cuadrático de las variables de estado.

Según el aspecto, la evolución temporal de las variables de estado está representada por el modelo de simulación que incluye la transformada lineal y el ruido gaussiano, y la observación está representada por el modelo de observación que incluye la transformada lineal y el ruido gaussiano, y así se puede estimar un perfil de superficie de carretera mediante el cálculo que provoca una carga relativamente baja.

Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de estimación de perfil de superficie de carretera, tal como se define en la reivindicación 8.

Según el aspecto, los perfiles de la superficie de la carretera se estiman en la primera condición y en la segunda condición, y la pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación se determinan de forma que se reduzca la diferencia entre los perfiles de la superficie de la carretera estimados en ambas condiciones. Por lo tanto, la pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación puede determinarse junto con la estimación de perfiles de superficie de carretera.

Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método de estimación de perfil de superficie de carretera tal como se define en la reivindicación 9.

Según el aspecto, los perfiles de la superficie de la carretera se estiman en la primera condición y en la segunda condición, y la pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación se determinan de forma que se reduzca la diferencia entre los perfiles de la superficie de la carretera estimados en ambas condiciones. Por lo tanto, la pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación puede determinarse junto con la estimación de perfiles de superficie de carretera.

Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un programa de estimación de perfil de superficie de carretera, tal como se define en la reivindicación 10.

Según el aspecto, los perfiles de la superficie de carretera se estiman en la primera condición y en la segunda condición, y la pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación se determinan de forma que se reduzca la diferencia entre los perfiles de la superficie de carretera estimados en ambas condiciones. Por lo tanto, la pluralidad de parámetros incluidos en el modelo de simulación puede determinarse junto con la estimación de perfiles de superficie de carretera.

Efectos Ventajosos de la Invención

Según la presente invención, es posible proporcionar un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera, un sistema de estimación de perfil de superficie de carretera, un método de estimación de perfil de superficie de carretera y un programa de estimación de perfil de superficie de carretera capaces de estimar un perfil de superficie de carretera y determinar también una pluralidad de parámetros incluidos en un modelo de simulación.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama que ilustra una configuración de red de un sistema de estimación de perfil de superficie de carretera de una carretera según una primera realización de la presente invención.

La Figura 2 es un diagrama de bloques funcional de un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera según la primera realización.

La Figura 3 es un diagrama que ilustra una configuración física del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera según la primera realización.

La Figura 4 es un diagrama conceptual de un modelo de simulación utilizado por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera según la primera realización.

La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de determinación de parámetros ejecutado por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera según la primera realización.

La Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de estimación de perfil de superficie de carretera ejecutado por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera según la primera realización.

La Figura 7 es un diagrama que ilustra los parámetros determinados por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera según la primera realización.

La Figura 8 es un diagrama que ilustra una densidad espectral de potencia de un perfil de firme estimado por el dispositivo de estimación de perfil de firme según la primera realización.

La Figura 9 es un diagrama que ilustra un perfil de superficie de carretera estimado para un neumático delantero y un perfil de superficie de carretera estimado para un neumático trasero por el dispositivo de estimación de perfil de superficie

de carretera según la primera realización.

La Figura 10 es un diagrama que ilustra una densidad espectral de potencia del perfil de superficie de carretera estimada para el neumático delantero y una densidad espectral de potencia del perfil de superficie de carretera estimada para el neumático trasero por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera según la primera realización.

La Figura 11 es un diagrama que ilustra una relación entre un IRI de una superficie de carretera estimado por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera según la primera realización y una distancia.

La Figura 12 es un diagrama que ilustra una relación entre una velocidad y una distancia de un vehículo utilizada para estimar el IRI de una superficie de carretera por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera según la primera realización.

La Figura 13 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de determinación de parámetros ejecutado por un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera según una segunda realización de la presente invención.

La Figura 14 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de determinación de parámetros ejecutado por un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera según una tercera realización de la presente invención.

15 Descripción de las modalidades

Las realizaciones de la presente invención se describirán con referencia a los dibujos adjuntos. En cada dibujo, los que tienen los mismos números de referencia tienen configuraciones iguales o similares.

20 [Primera modalidad]

La Figura 1 es un diagrama que ilustra una configuración de red de un sistema de estimación de perfil de superficie de carretera 1 según una primera realización de la presente invención. El sistema de estimación de perfil de superficie de carretera 1 incluye un vehículo 30, un acelerómetro 21 que mide una aceleración en una dirección vertical a una superficie de carretera sobre la que el vehículo 30 entra en contacto con el suelo, un medidor de velocidad angular 22 que mide una velocidad angular con respecto a un eje de inclinación del vehículo 30, y un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 que estima un perfil de una superficie de carretera sobre la que se desplaza el vehículo 30. En el sistema de estimación de perfil de carretera 1 según la presente realización, el acelerómetro 21 y el medidor de velocidad angular 22 están incorporados en un teléfono inteligente 20. El teléfono inteligente 20 puede colocarse en cualquier lugar, como el salpicadero o el maletero del vehículo 30. Sin embargo, el acelerómetro 21 y el medidor de velocidad angular 22 pueden estar previstos por separado en el vehículo 30. El acelerómetro 21 mide la aceleración en la dirección vertical a la superficie de carretera en la que el vehículo 30 entra en contacto con el suelo, pero no mide necesariamente sólo la aceleración en la dirección vertical, y puede medir también una aceleración una dirección horizontal a la superficie de carretera. El acelerómetro 21 puede medir al menos un componente en la dirección vertical a la superficie de carretera entre una pluralidad de componentes de la aceleración del vehículo 30. El medidor de velocidad angular 22 mide la velocidad angular con respecto al eje de inclinación del vehículo 30, pero no mide necesariamente sólo la velocidad angular con respecto al eje de inclinación, y puede medir también una velocidad angular con respecto a un eje de balanceo del vehículo 30 y una velocidad angular con respecto a un eje de guiñada del mismo. El medidor de velocidad angular 22 puede medir al menos la velocidad angular con respecto al eje de inclinación entre las velocidades angulares con respecto a la pluralidad de ejes del vehículo 30. El acelerómetro 21 y el medidor de velocidad angular 22 son ejemplos de unidades de medida que miden magnitudes físicas que representan un movimiento del vehículo 30.

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 estima un perfil de superficie de carretera por la que circula el vehículo 30 basándose, por ejemplo, en la aceleración y la velocidad angular medidas por el acelerómetro 21 y el medidor de velocidad angular 22. Aquí, la aceleración y la velocidad angular medidas por el acelerómetro 21 y el medidor de velocidad angular 22 son ejemplos de magnitudes físicas que representan el movimiento del vehículo 30 que se desplaza sobre la superficie de carretera. En el sistema de estimación de perfil de superficie de carretera 1 según la presente realización, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 está conectado al teléfono inteligente 20 a través de una red de comunicación N. Aquí, la red de comunicación N puede ser una red de comunicación por cable o inalámbrica. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 no tiene que ser necesariamente un dispositivo independiente del teléfono inteligente 20, y puede estar configurado de forma integral con el teléfono inteligente 20. En este caso, el teléfono inteligente 20 puede funcionar como el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 ejecutando un programa de estimación de perfil de superficie de carretera instalado en el teléfono inteligente 20.

El vehículo 30 puede ser un automóvil que circula por la superficie de carretera con neumáticos de cuatro ruedas. Sin embargo, el vehículo 30 puede ser un vehículo de tres ruedas, de dos ruedas o de cinco ruedas o más. Como vehículo 30 puede utilizarse un automóvil de cualquier tamaño y, en la presente especificación, se describirá un caso en el que se utilizan como vehículo 30 un vehículo ligero (ligero), un vehículo mediano (mediano) y un vehículo grande (pesado).

La Figura 2 es un diagrama de bloques funcional del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización de la presente invención. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 incluye una unidad de adquisición 11, una unidad de predicción 12, una unidad de cálculo 13, una unidad de actualización 14, una unidad de estimación 15, una unidad de determinación 16 y una unidad de almacenamiento 17.

La unidad de adquisición 11 adquiere magnitudes físicas que representan el movimiento del vehículo 30 que se desplaza

por la superficie de carretera. En la presente realización, la unidad de adquisición 11 adquiere la aceleración en la dirección vertical a la superficie de carretera sobre la que el vehículo 30 contacta con el suelo y la velocidad angular con respecto al eje de inclinación. La unidad de adquisición 11 puede comunicarse con el teléfono inteligente 20 para adquirir la aceleración del acelerómetro 21 incorporado en el teléfono inteligente 20 y adquirir la velocidad angular del medidor de velocidad angular 22.

La unidad de predicción 12 predice la evolución temporal de variables de estado que incluyen variables que representan un desnivel de la superficie de carretera por la que circula el vehículo 30 y variables que representan magnitudes físicas basándose en un modelo de simulación M1 que incluye una pluralidad de parámetros P. Aquí, el modelo de simulación M1 que incluye la pluralidad de parámetros P se almacena en la unidad de almacenamiento 17. En la presente realización, el modelo de simulación M1 es un modelo de medio coche para el vehículo 30, y las variables de estado son variables que representan un estado del modelo de medio coche. Más concretamente, las variables que representan la irregularidad de la superficie de carretera incluyen un desplazamiento vertical y la velocidad de un neumático delantero del modelo de medio coche y un desplazamiento vertical y la velocidad de un neumático trasero del modelo de medio coche. Las variables que representan un movimiento vertical del vehículo 30 incluyen un desplazamiento vertical y una velocidad del centro de gravedad del modelo de medio coche, un desplazamiento vertical y una velocidad de una suspensión delantera del modelo de medio coche, y un desplazamiento vertical y una velocidad de una suspensión trasera del modelo de medio coche. Las variables que representan un movimiento de rotación con respecto al eje de inclinación del vehículo 30 incluyen un ángulo de rotación y una velocidad angular con respecto a un eje de inclinación que pasa por el centro de gravedad del modelo de medio coche. La unidad de predicción 12 puede calcular el desplazamiento vertical integrando la aceleración adquirida por la unidad de adquisición 11 en el segundo orden con respecto al tiempo, y puede calcular un desplazamiento angular con respecto al eje de inclinación integrando la velocidad angular adquirida por la unidad de adquisición 11 en el primer orden con respecto al tiempo.

La unidad de cálculo 13 calcula los valores de observación de las magnitudes físicas a partir de las variables de estado predichas por la unidad de predicción 12 sobre la base de un modelo de observación M2. Específicamente, la unidad de cálculo 13 calcula la aceleración en la dirección vertical a la superficie de carretera sobre la que el vehículo 30 contacta con el suelo, la velocidad angular con respecto al eje de inclinación, el desplazamiento vertical y el desplazamiento angular con respecto al eje de inclinación utilizando las variables de estado predichas por la unidad de predicción 12 sobre la base del modelo de observación M2. El modelo de observación M2 se almacena en la unidad de almacenamiento 17.

La unidad de actualización 14 actualiza las variables de estado mediante la asimilación de datos entre las magnitudes físicas adquiridas por la unidad de adquisición 11 y las magnitudes físicas calculadas por la unidad de cálculo 13. En este caso, la asimilación de datos es un proceso de actualización de las variables de estado predichas mediante el modelo de simulación M1 sobre la base de los valores medidos realmente y mejorando así la precisión de la predicción. En la presente realización, la asimilación de datos se realiza mediante un filtro de Kalman. Más adelante se describirán en detalle ejemplos concretos de la asimilación de datos.

La unidad de estimación 15 estima los perfiles de superficie de carretera bajo una primera condición y una segunda condición, respectivamente, basándose en las variables que representan la irregularidad de la superficie de carretera incluidas en las variables de estado. Aquí, el perfil de superficie de carretera indica una forma vertical de la superficie de carretera.

El perfil de superficie de carretera estimado por la unidad de estimación 15 en la primera condición puede ser un perfil de superficie de carretera estimado sobre la base de variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero del modelo de medio coche. El perfil de superficie de carretera estimado por la unidad de estimación 15 en la segunda condición puede ser un perfil de superficie de carretera estimado sobre la base de variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero del modelo de medio coche.

La unidad de determinación 16 determina la pluralidad de parámetros P de forma que un valor absoluto de una función de evaluación para evaluar una diferencia entre el perfil de superficie de carretera estimado en la primera condición y el perfil de superficie de carretera estimado en la segunda condición sea pequeño. Se requiere que el perfil de superficie de carretera estimado en la primera condición y el perfil de superficie de carretera estimado en la segunda condición coincidan originalmente entre sí. Así, los perfiles de superficie de carretera se estiman en la primera condición y en la segunda condición, y la pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1 se determinan de forma que se reduzca la diferencia entre los perfiles de superficie de carretera estimados en ambas condiciones. Por lo tanto, la pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1 puede determinarse junto con la estimación de perfiles de superficie de carretera.

La función de evaluación puede incluir una diferencia entre una primera función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero y una segunda función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero. En consecuencia, una pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1 pueden determinarse bajo la petición de que el perfil de superficie de carretera estimado sobre la base de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero y el perfil de superficie de carretera estimado sobre la base de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero deben coincidir entre sí.

La unidad de almacenamiento 17 almacena el modelo de simulación M1 y el modelo de observación M2. En el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la presente realización, el modelo de simulación M1 es un modelo que representa la evolución temporal de una variable de estado utilizando la transformación lineal de la variable de estado y el ruido gaussiano, y el modelo de observación M2 es un modelo utilizado para calcular una aceleración en la dirección vertical a la superficie de carretera en la que el vehículo 30 entra en contacto con el suelo, una velocidad angular con respecto al eje de inclinación del vehículo 30, un desplazamiento vertical y un desplazamiento angular con respecto al eje de inclinación utilizando la transformación lineal de la variable de estado y el ruido gaussiano. La unidad de actualización 14 actualiza la variable de estado de forma que se minimice un error cuadrático de la variable de estado. Como se describirá más adelante en detalle, la unidad de predicción 12, la unidad de cálculo 13 y la unidad de actualización 14 del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la presente realización funcionan como un filtro de Kalman.

La Figura 3 es un diagrama que ilustra una configuración física del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 incluye una unidad central de procesamiento (CPU) 10a correspondiente a una unidad de cálculo, una memoria de acceso aleatorio (RAM) 10b correspondiente a una unidad de almacenamiento, una memoria de sólo lectura (ROM) 10c correspondiente a una unidad de almacenamiento, una unidad de comunicación 10d, una unidad de entrada 10e y una unidad de visualización 10f. Los respectivos componentes están conectados entre sí a través de un bus de forma que se puedan transmitir y recibir datos. En este ejemplo, se describirá un caso en el que el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 incluye un único ordenador, pero el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 puede realizarse combinando una pluralidad de ordenadores. La configuración ilustrada en la Figura 3 es un ejemplo, y el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 puede tener un componente distinto de estos, o puede no tener algunos de estos componentes.

La CPU 10a es una unidad de control que controla la ejecución de un programa almacenado en la RAM 10b o la ROM 10c, calcula datos y los procesa. La CPU 10a es una unidad de cálculo que ejecuta un programa (programa de estimación de perfil de superficie de carretera) para estimar el perfil de una superficie de carretera basándose en magnitudes físicas que representan el movimiento de un vehículo que circula por la superficie de carretera. La CPU 10a recibe diversos datos de la unidad de entrada 10e o de la unidad de comunicación 10d, y muestra un resultado del cálculo de los datos en la unidad de visualización 10f, o almacena el resultado del cálculo en la RAM 10b o en la ROM 10c.

La RAM 10b es una unidad de almacenamiento en la que se pueden reescribir datos y puede incluir, por ejemplo, un elemento de almacenamiento semiconductor. La memoria RAM 10b puede almacenar datos como el programa de estimación de perfil de superficie de carretera ejecutado por la CPU 10a, el modelo de simulación M1 y el modelo de observación M2. Estos son ejemplos, y en la RAM 10b pueden almacenarse otros datos distintos a los indicados, o puede que no se almacenen algunos de ellos.

La ROM 10c es una unidad de almacenamiento en la que se pueden leer datos y puede incluir, por ejemplo, un elemento de almacenamiento semiconductor. La ROM 10c puede almacenar, por ejemplo, un programa de edición de imágenes o datos que no se reescriben.

La unidad de comunicación 10d es una interfaz que conecta el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 con otros dispositivos. La unidad de comunicación 10d puede estar conectada a la red de comunicación N, como Internet.

La unidad de entrada 10e recibe los datos que introduce un usuario y puede incluir, por ejemplo, un teclado y un panel táctil.

La unidad de visualización 10f muestra visualmente un resultado de cálculo de la CPU 10a, y puede incluir, por ejemplo, una pantalla de cristal líquido (LCD). La unidad de visualización 10f puede mostrar un gráfico que indique un perfil estimado de la superficie de carretera o una pluralidad de parámetros P determinados.

El programa de estimación de perfil de superficie de carretera puede almacenarse y proporcionarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador, como la memoria RAM 10b o la memoria ROM 10c, o puede proporcionarse a través de una red de comunicación conectada por la unidad de comunicación 10d. En el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10, la CPU 10a ejecuta el programa de estimación de perfil de superficie de carretera y, de este modo, se realizan las operaciones de la unidad de adquisición 11, la unidad de predicción 12, la unidad de cálculo 13, la unidad de actualización 14, la unidad de estimación 15 y la unidad de determinación 16 descritas con referencia a la Figura 2. Estos constituyentes físicos son ejemplos y no tienen que ser necesariamente constituyentes separados. Por ejemplo, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 puede incluir una integración a gran escala (LSI) en la que estén integradas la CPU 10a y la RAM 10b o la ROM 10c.

La Figura 4 es un diagrama conceptual del modelo de simulación M1 utilizado por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización. El modelo de simulación M1 es un modelo de medio coche e incluye doce variables de estado y trece parámetros. El modelo de simulación M1 es un modelo de medio coche para el

vehículo 30 que se desplaza sobre una superficie de carretera a una velocidad $V(t)$ y una aceleración $a(t)$.

Las variables de estado incluyen un desplazamiento vertical y_f y la velocidad dy_f/dt de un neumático delantero del modelo de medio coche, un desplazamiento vertical y_r y la velocidad dy_r/dt de un neumático trasero del modelo de medio coche, un desplazamiento vertical x y la velocidad dx/dt del centro de gravedad del modelo de medio coche, un desplazamiento vertical x_f y la velocidad dx_f/dt de una suspensión delantera del modelo de medio coche, un desplazamiento vertical x_r y la velocidad dx_r/dt de una suspensión trasera del modelo de medio coche, y un ángulo de rotación θ y una velocidad angular $d\theta/dt$ con respecto al eje de inclinación que pasa por el centro de gravedad del modelo de medio coche.

Los parámetros incluyen un coeficiente de muelle k_{tf} del neumático delantero del modelo de medio coche, la masa m_f del neumático delantero, un coeficiente de muelle k_r y un coeficiente de amortiguación c_f de la suspensión delantera, un coeficiente de muelle k_{tr} del neumático trasero del modelo de medio coche, la masa m_r del neumático trasero, un coeficiente de muelle k_r y un coeficiente de amortiguación c_r de la suspensión trasera, la masa m_H de la carrocería del vehículo y un momento de inercia I_z alrededor del eje de inclinación del modelo de medio coche, una distancia horizontal L_f desde el centro de gravedad del modelo de medio coche hasta el punto de contacto con el suelo del neumático delantero, una distancia horizontal L_r desde el centro de gravedad del modelo de medio coche hasta el punto de contacto con el suelo del neumático trasero, y una distancia horizontal d desde el punto de contacto con el suelo del neumático delantero hasta el punto de provisión del acelerómetro 21 y el medidor de velocidad angular 22.

El modelo de medio coche se utiliza como modelo de simulación M1, y así se puede expresar con más precisión un estado de movimiento del vehículo 30 y predecir con más precisión la evolución temporal de las variables de estado que cuando se utiliza un modelo de un cuarto de coche.

La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de determinación de parámetros ejecutado por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización. En primer lugar, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 establece valores candidatos para una pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1 (S10).

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 estima los perfiles de superficie de carretera para el neumático delantero y el neumático trasero utilizando el conjunto de valores candidatos para los parámetros P (S11). Los detalles de un proceso de estimación de perfiles de superficie de carretera se describirán con referencia al siguiente dibujo.

A continuación, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 calcula una densidad espectral de potencia $P_{yf}(\omega)$ del perfil de superficie de carretera relacionado con el neumático delantero y una densidad espectral de potencia $P_{yr}(\omega)$ del perfil de superficie de carretera relacionado con el neumático trasero (S12). El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 determina si una diferencia entre los valores integrados de las densidades espectrales de potencia relativas al neumático delantero y al neumático trasero es igual o inferior a un valor umbral (S13). Es decir, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 determina si un valor de una función de evaluación F expresada mediante la siguiente Ecuación (1) es igual o inferior al valor umbral.

[Ecuación 1]

$$F = \int_{\omega a}^{\omega b} (P_{yf}(\omega) - P_{yr}(\omega)) d\omega$$

Aquí, ω representa una frecuencia espacial, y ωa y ωb representan las frecuencias espaciales de los límites inferior y superior de la integral. El valor umbral puede fijarse libremente y puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 10^{-4} .

Como se ha descrito anteriormente, la función de evaluación F puede incluir una diferencia entre la primera función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero y la segunda función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero. En el caso de este ejemplo, la primera función es la densidad espectral de potencia $P_{yf}(\omega)$ del perfil de superficie de carretera calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero, y la segunda función es la densidad espectral de potencia $P_{yr}(\omega)$ del perfil de superficie de carretera calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero. Las densidades espectrales de potencia se comparan entre sí, y así es posible determinar la pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1 sin corregir el hecho de que el perfil de superficie de carretera calculado a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero y el perfil de superficie de carretera calculado a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero se estima que se desvían en una longitud de distancia entre ejes ($L_f + L_r$).

En caso de que el valor de la función de evaluación F no sea igual o inferior al valor umbral (S13: NO), el dispositivo de

estimación de perfil de superficie de carretera 10 ejecuta procesos de selección, cruce y mutación sobre la pluralidad de parámetros P, y establece así nuevos valores candidatos (S14). Los nuevos valores candidatos para los parámetros se utilizan para realizar repetidamente la estimación de perfiles de superficie de carretera (S11), el cálculo de las densidades espectrales de potencia (S12) y la comparación entre un valor de la función de evaluación F y el valor umbral (S13). Aquí, los procesos de selección, cruce y mutación pueden ser procesos utilizados en un algoritmo genético existente. Una pluralidad de parámetros P se determinan utilizando el algoritmo genético, y así los parámetros apropiados P pueden determinarse eficientemente incluso en un caso en el que el número de la pluralidad de parámetros P aumenta y una búsqueda completa es difícil.

Por otra parte, en un caso en el que el valor de la función de evaluación F sea igual o inferior al valor umbral (S13: SÍ), el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 determina si un coeficiente de determinación en el análisis de regresión relacionado con una densidad espectral de potencia es igual o inferior a un valor umbral (S15). La unidad de determinación 16 del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 puede realizar un análisis de regresión en el que un logaritmo de una densidad espectral de potencia calculada mediante el uso de los valores candidatos para una pluralidad de parámetros se utiliza como variable dependiente y un logaritmo de una frecuencia se utiliza como variable independiente, y puede determinar si emplear o no los valores candidatos en función de la comparación entre el coeficiente de determinación en el análisis de regresión y el valor umbral. En consecuencia, es posible determinar una pluralidad de parámetros con mayor precisión excluyendo un caso en el que un valor absoluto de la función de evaluación calculado utilizando los valores candidatos para la pluralidad de parámetros sea pequeño pero se desvíe de un valor verdadero.

En caso de que el coeficiente de determinación en el análisis de regresión relativo a la densidad espectral de potencia sea igual o inferior al valor umbral (S15: YES), es decir, en el caso de que la densidad espectral de potencia se desvíe relativamente mucho de un conducto de regresión, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 establece nuevos valores candidatos para los parámetros (S10) y realiza repetidamente la estimación de perfiles de superficie de carretera (S11), el cálculo de las densidades espectrales de potencia (S12) y la comparación entre un valor de la función de evaluación F y el valor umbral (S13).

Por otra parte, cuando el coeficiente de determinación en el análisis de regresión relativo a la densidad espectral de potencia no es igual o inferior al valor umbral (S15: NO), es decir, en un caso en el que la densidad espectral de potencia se aproxima de forma relativamente favorable mediante el conducto de regresión, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 determina los parámetros calculados como una pluralidad de parámetros P del modelo de simulación M1 (S16). Así, el proceso de determinación de los parámetros ha finalizado.

La Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de estimación de perfil de superficie de carretera ejecutado por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización. La Figura 6 ilustra detalles del proceso de estimación de perfil de superficie de carretera (S11) ilustrado en la Figura 5.

En primer lugar, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 adquiere una aceleración en una dirección vertical a la superficie de carretera sobre la que el vehículo 30 contacta con el suelo y una velocidad angular con respecto al eje de inclinación (S110). La medición de la aceleración en el acelerómetro 21 y la medición de la velocidad angular en el medidor de velocidad angular 22 pueden realizarse a intervalos de tiempo predeterminados. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 puede adquirir la aceleración y la velocidad angular cada vez que el acelerómetro 21 y el medidor de velocidad angular 22 realizan la medición, o puede adquirir colectivamente la aceleración y la velocidad angular una vez finalizada la medición.

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 integra la aceleración adquirida por la unidad de adquisición 11 para calcular un desplazamiento vertical, e integra la velocidad angular para calcular un desplazamiento angular con respecto al eje de inclinación (S111). La aceleración y la velocidad angular adquiridas por la unidad de adquisición 11 y el desplazamiento y el desplazamiento angular calculados se representan colectivamente mediante un vector x.

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 predice la evolución temporal de las variables de estado basándose en el modelo de medio coche (S112). La evolución temporal de las variables de estado se obtiene a partir de una Ecuación de movimiento expresada por la siguiente Ecuación (2).

[Ecuación 2]

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = Py(t)$$

Aquí, el vector x se expresa mediante la siguiente Ecuación (3). El vector x incluye, como componentes vectoriales, un desplazamiento vertical x del centro de gravedad del modelo de medio coche, un desplazamiento angular θ con respecto al eje de inclinación que pasa por el centro de gravedad, un desplazamiento vertical x_f de la suspensión delantera del modelo de medio coche y un desplazamiento vertical x_r de la suspensión trasera del modelo de medio coche.

[Ecuación 3]

$$\mathbf{x}(t) = [x \ \theta \ x_f \ x_r]^T$$

5 Las matrices M, C y K vienen dadas por las siguientes ecuaciones (4) a (6), respectivamente, y son cantidades que dependen de los parámetros.

[Ecuación 4]

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_H & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_f & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_r \end{bmatrix}$$

[Ecuación 5]

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_f + c_r & L_r c_r - L_f c_f & -c_f & -c_r \\ L_r c_r - L_f c_f & L_f^2 c_f + L_r^2 c_r & L_f c_f & -L_r c_r \\ -c_f & L_f c_f & c_f & 0 \\ -c_r & -L_r c_r & 0 & c_r \end{bmatrix}$$

10

[Ecuación 6]

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_f + k_r & L_r k_r - L_f k_f & -k_f & -k_r \\ L_r k_r - L_f k_f & L_f^2 k_f + L_r^2 k_r & L_f k_f & -L_r k_r \\ -k_f & L_f k_f & k_f + k_{tr} & 0 \\ -k_r & -L_r k_r & 0 & k_r + k_{tr} \end{bmatrix}$$

15

El lado derecho de la Ecuación (2) viene dado por un vector y que representa el desnivel de la superficie de carretera y una matriz P que depende de los parámetros. La matriz P viene dada por la siguiente Ecuación (7), y el vector y por la siguiente Ecuación (8).

[Ecuación 7]

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & k_{tf} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{tr} \end{bmatrix}^T$$

[Ecuación 8]

$$\mathbf{y}(t) = [y_f \ y_r]^T$$

20

En la siguiente descripción, expresada en la Ecuación (9), doce variables de estado están representadas por un vector $\mathbf{X}^a$.

[Ecuación 9]

$$X^a(t) = \begin{bmatrix} x(t)^T & \dot{x}(t)^T & y_f & \dot{y}_f & y_r & \dot{y}_r \end{bmatrix}^T$$

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 representa, con un término de ruido, un error que puede producirse al modelar un comportamiento del vehículo 30 utilizando el modelo de medio coche. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 obtiene la evolución temporal de la variable de estado X^a según la siguiente Ecuación (10).

[Ecuación 10]

$$X^a_{k+1} = A_a X^a_k + \zeta_k$$

Aquí, los subíndices "k" y "k+1" de la variable de estado X^a representan pasos temporales. La matriz A_a del lado derecho representa la evolución temporal de la variable de estado expresada por la Ecuación (2) como transformación lineal en un paso de tiempo unitario. Cuando A_a se representa por $\exp(A_{ca}\Delta t)$, A_{ca} se expresa mediante la siguiente Ecuación (11). Sin embargo, Δt representa un escalón de tiempo unitario.

[Ecuación 11]

$$A_{ca} = \begin{bmatrix} A_c & B_c \\ 0_{2 \times 8} & 0_{2 \times 2} \end{bmatrix}$$

Aquí, A_c se expresa mediante la siguiente Ecuación (12), y B_c se expresa mediante la siguiente Ecuación (13). $O_{m \times n}$ es una matriz $m \times n$ de la que todos los elementos son 0.

[Ecuación 12]

$$A_c = \begin{bmatrix} 0_{4 \times 4} & I_{4 \times 4} \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix}$$

[Ecuación 13]

$$B_c = \begin{bmatrix} 0_{4 \times 2} \\ M^{-1}P \end{bmatrix}$$

Aquí, las matrices M , C , K y P son las expresadas en las ecuaciones (4) a (7). $I_{4 \times 4}$ es una matriz unitaria de 4×4 , y las matrices $O_{4 \times 4}$, $O_{4 \times 2}$ y $O_{2 \times 2}$ son matrices cero de 4×4 , 4×2 y 2×2 , respectivamente.

ζ_k en el lado derecho de la Ecuación (10) es un término de ruido en el paso de tiempo k . El término de ruido ζ_k incluye un vector de ocho dimensiones w_k y un vector de cuatro dimensiones η_k , tal como se expresa en la siguiente Ecuación (14).

[Ecuación 14]

$$\zeta_k = \begin{bmatrix} w_k \\ \eta_k \end{bmatrix}$$

En el término de ruido ζ_k , el término de ruido w_k para el desplazamiento vertical x y la velocidad dx/dt del centro de gravedad del modelo de medio coche, el desplazamiento vertical x_f y la velocidad dx_f/dt de la suspensión delantera del modelo de medio coche, el desplazamiento vertical x_r y la velocidad dx_r/dt de la suspensión trasera del modelo de medio coche, y el ángulo de rotación θ y la velocidad angular $d\theta/dt$ con respecto al eje de inclinación que pasa por el centro de gravedad del modelo de medio coche es el ruido gaussiano que tiene una media de 0 y una matriz de varianza-covarianza de Q . La matriz de varianza-covarianza del término de ruido w_k se expresa mediante la siguiente Ecuación (15). Aquí, $\delta_{k,l}$ es un delta de Kronecker.

[Ecuación 15]

$$E[\mathbf{w}_k \mathbf{w}_l^T] = \mathbf{Q} \delta_{k,l}$$

5 En el término de ruido ζ_k , el término de ruido η_k para el desplazamiento vertical y_r y la velocidad dy_r/dt del neumático delantero del modelo de medio coche y el desplazamiento vertical y_r y la velocidad dy_r/dt del neumático trasero del modelo de medio coche es el ruido gaussiano que tiene una media de 0 y una matriz de varianza-covarianza de S. La matriz de varianza-covarianza del término de ruido η_k se expresa mediante la siguiente Ecuación (16).

[Ecuación 16]

$$E[\boldsymbol{\eta}_k \boldsymbol{\eta}_l^T] = \mathbf{S} \delta_{k,l}$$

10 El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 calcula una aceleración, una velocidad angular, un desplazamiento y un desplazamiento angular a partir de las variables de estado predichas por la unidad de predicción 12 sobre la base del modelo de observación M2 (S113). El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 calcula un vector $\mathbf{u}$ que resume la aceleración, la velocidad angular, el desplazamiento y el desplazamiento angular a
15 expresado mediante la siguiente Ecuación (17). El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 modela la observación mediante la transformación lineal $\mathbf{C}_a$ de las variables de estado, y modela un error de observación utilizando un término de ruido $\mathbf{v}_k$.

[Ecuación 17]

$$\mathbf{u}_k = \mathbf{C}_a \mathbf{X}_k^a + \mathbf{v}_k$$

20 Aquí, la transformada lineal $\mathbf{C}_a$ viene dada por la siguiente Ecuación (18).

[Ecuación 18]

$$\mathbf{C}_a = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_1 \\ \mathbf{0}_{2 \times 2} \end{bmatrix}^T$$

25 La matriz $\mathbf{C}_1$ viene dada por la siguiente Ecuación (19).

[Ecuación 19]

$$C_1 = \begin{bmatrix} -\frac{k_f + k_r}{m_H} + \frac{(L_f d)(L_r k_r - L_f k_f)}{I_z} & 0 & 1 & 0 \\ -\frac{L_r k_r - L_f k_f}{m_H} + \frac{(L_f d)(L_f^2 k_f - L_r^2 k_r)}{I_z} & 0 & d - L_f & 1 \\ \frac{k_f}{m_H} + \frac{(L_f d)L_f k_f}{I_z} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{k_r}{m_H} - \frac{(L_f d)L_r k_r}{I_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{c_f + c_r}{m_H} + \frac{(L_f d)(L_r c_r - L_f c_f)}{I_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{L_r c_r - L_f c_f}{m_H} + \frac{(L_f d)(L_f^2 c_f - L_r^2 c_r)}{I_z} & 1 & 0 & 0 \\ \frac{c_f}{m_H} + \frac{(L_f d)L_f c_f}{I_z} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{c_r}{m_H} - \frac{(L_f d)L_r c_r}{I_z} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

El término de ruido v_k de la parte derecha de la Ecuación (17) es el ruido gaussiano que tiene una media de 0 y una matriz de varianza-covarianza de R. La matriz de varianza-covarianza del término de ruido v_k se expresa mediante la siguiente Ecuación (20).

[Ecuación 20]

$$E[v_k v_l^T] = R \delta_{k,l}$$

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 actualiza la variable de estado utilizando una ganancia de Kalman óptima (S114). Aquí, la ganancia de Kalman óptima es un coeficiente de actualización determinado para minimizar un error cuadrático de la variable de estado, y viene dada por la siguiente Ecuación (21).

[Ecuación 21]

$$G_{k+1} = P_{k+1}^- C_a^T [C_a P_{k+1}^- C_a^T + R_{k+1}]^{-1}$$

P_{k+1}^- en el lado derecho de la Ecuación (21) es una varianza de la variable de estado antes de la actualización en el paso temporal $k+1$. En cuanto a las variables de estado, un valor inicial de un valor esperado viene dado por la siguiente Ecuación (22), y un valor inicial de la varianza viene dado por la siguiente Ecuación (23). La variable de estado X^a con el símbolo del sombrero representa un valor estimado.

[Ecuación 22]

$$\widehat{X}_0^a = E[X_0^a]$$

[Ecuación 23]

$$P_0 = E[(X_0^a - E[X_0^a])(X_0^a - E[X_0^a])^T]$$

Como se ha descrito anteriormente, la evolución temporal del valor esperado de la variable de estado X^a viene dada por

la siguiente Ecuación (24).

[Ecuación 24]

$$\widehat{X^a}_{k+1}^- = A_a \widehat{X^a}_k$$

5 Aquí, el superíndice "-" indica una cantidad anterior a la actualización. La evolución temporal de la varianza de la variable de estado X^a viene dada por la siguiente Ecuación (25).

[Ecuación 25]

$$P_{k+1}^- = A_a P_k A_a^T + Q_k$$

10 La unidad de actualización 14 obtiene un valor esperado de la variable de estado actualizada X^a según la siguiente Ecuación (26).

[Ecuación 26]

$$\widehat{X^a}_{k+1} = \widehat{X^a}_{k+1}^- + G_{k+1} (u_{k+1} - C_a \widehat{X^a}_{k+1}^-)$$

15 Aquí, u_{k+1} en el lado derecho es un valor observado en el paso de tiempo $k+1$. El segundo término del lado derecho es un término para corregir la variable de estado utilizando un valor obtenido multiplicando un residuo de observación por la ganancia óptima de Kalman G_{k+1} .

20 El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 obtiene una varianza de la variable de estado actualizada X^a mediante la siguiente Ecuación (27).

[Ecuación 27]

$$P_{k+1} = (I - G_{k+1} C_a) P_{k+1}^-$$

25 Como se ha descrito anteriormente, las variables de estado pueden estimarse con gran precisión mediante la predicción de las variables de estado para cada paso temporal y la actualización de las variables de estado en función de un residuo de medición. En la presente realización, el modelo de simulación M1 es un modelo que representa la evolución temporal de las variables de estado mediante el uso de la transformación lineal de la variable de estado y el ruido gaussiano, y el modelo de observación M2 es un modelo utilizado para calcular los valores de observación de las magnitudes físicas mediante el uso de la transformación lineal de la variable de estado y el ruido gaussiano. La unidad de actualización 14 del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la presente realización puede actualizar las variables de estado de forma que se minimice un error cuadrático de las variables de estado. Es decir, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 puede actualizar las variables de estado utilizando la ganancia de Kalman óptima. Como se ha descrito anteriormente, la evolución temporal de las variables de estado está representada por el modelo de simulación M1, que incluye la transformada lineal y el ruido gaussiano, y la observación está representada por el modelo de observación M2, que incluye la transformada lineal y el ruido gaussiano, y de este modo se puede estimar un perfil de superficie de carretera mediante el cálculo que provoca una carga relativamente baja.

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 suaviza las variables de estado en función de una ganancia de retropropagación (S115). En el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la presente realización, las variables de estado se suavizan utilizando un método de suavizado RTS. Específicamente, cuando el paso de tiempo existe desde $k=0$ hasta $k=T$, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 puede utilizar todas las variables de estado posteriores x_{k+1} , x_{k+2} , ..., y x_T para alisar una variable de estado x_k en el paso de tiempo k . Sin embargo, puede designarse un intervalo L (donde L es cualquier número natural), y las variables de estado pueden suavizarse utilizando x_{k+1} , x_{k+2} , ..., y x_{k+L} .

45 El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 inicializa un valor esperado de la variable de estado suavizada mediante la siguiente Ecuación (28), e inicializa una varianza de la variable de estado suavizada mediante la siguiente Ecuación (29). Aquí, el superíndice "RTS" de la variable de estado X^a indica que un valor está suavizado RTS.

[Ecuación 28]

$$\widehat{X^{RTS}}_N = \widehat{X^a}_N$$

[Ecuación 29]

$$P_N^b = P_N$$

A continuación, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 calcula una ganancia Φ de la retropropagación en el proceso de alisado mediante la siguiente Ecuación (30).

[Ecuación 30]

$$\Phi_k = P_k A_a [P_{k+1}^-]^{-1}$$

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 alisa el valor esperado de la variable de estado desde el paso de tiempo $k=T$ hacia el pasado utilizando la siguiente Ecuación (31) en función de la ganancia Φ . El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 alisa la varianza de las variables de estado mediante la siguiente Ecuación (32).

[Ecuación 31]

$$\widehat{X_{RTS}}_k = \widehat{X}_k^a + \Phi_k (\widehat{X_{RTS}}_{k+1} - \widehat{X}_{k+1}^a)$$

[Ecuación 32]

$$P_k^b = P_k - \Phi_k (P_{k+1}^- - P_{k+1}^b) \Phi_k^T$$

Como se ha descrito anteriormente, las variables de estado se alisan. Como se ha descrito anteriormente, no sólo se utilizan para el suavizado de datos la aceleración vertical y la velocidad angular con respecto al eje de inclinación, sino también el desplazamiento vertical y el desplazamiento angular con respecto al eje de inclinación, con lo que se puede estimar con mayor precisión el perfil de superficie de carretera.

A continuación, la unidad de actualización 14 del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 actualiza la matriz de varianza-covarianza Q del ruido añadido a las variables de estado en el modelo de simulación M1 y la matriz de varianza-covarianza R del ruido añadido a los valores de observación de las magnitudes físicas en el modelo de observación M2 sobre la base de una diferencia entre las magnitudes físicas adquiridas por la unidad de adquisición 11 y las magnitudes físicas calculadas por la unidad de cálculo 13 (S116). En el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la presente realización, la matriz de varianza-covarianza del ruido se actualiza mediante el algoritmo Robbins-Monro.

En concreto, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 actualiza la matriz de varianza-covarianza Q del ruido añadido a las variables de estado en el modelo de simulación M1 mediante la siguiente Ecuación (33). El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 actualiza la matriz de varianza-covarianza R del ruido añadido a los valores de observación de las magnitudes físicas en el modelo de observación M2 mediante la siguiente Ecuación (34). En la presente realización, se supone que los términos fuera de la diagonal de Q y R son 0, y las actualizaciones de las ecuaciones (34) y (35) se aplican a los términos diagonales de Q y R .

[Ecuación 33]

$$Q_k = (1 - \alpha_{Q,k}) Q_{k-1} + \alpha_{Q,k} G_k (u_k - u_k^-) (u_k - u_k^-)^T G_k^T$$

[Ecuación 34]

$$R_k = (1 - \alpha_{R,k}) R_{k-1} + \alpha_{R,k} (u_k - u_k^-) (u_k - u_k^-)^T$$

Aquí, u_k^- es una cantidad expresada por la siguiente Ecuación (35). $\alpha_{Q,k}$ y $\alpha_{R,k}$ son hiperparámetros representados por números reales positivos menores que 1, y pueden ser, por ejemplo, aproximadamente 1/7.

[Ecuación 35]

$$\bar{u}_k = C_a \hat{X}_k^a$$

Como se ha descrito anteriormente, la matriz de varianza-covarianza Q del ruido añadido a las variables de estado en el modelo de simulación M1 y la matriz de varianza-covarianza R del ruido añadido a los valores de observación de las magnitudes físicas en el modelo de observación M2 se actualizan dinámicamente. Por lo tanto, el perfil del firme de una carretera puede estimarse de forma estable eliminando la dependencia de los valores iniciales de las matrices de varianza-covarianza.

Por último, la unidad de estimación 15 del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 estima un perfil de superficie de carretera basándose en las variables que representan la irregularidad de la superficie de carretera e incluidas en las variables de estado (S117). Específicamente, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 estima un perfil de superficie de carretera basándose en el desplazamiento vertical y_f del neumático delantero del modelo de medio coche y en el desplazamiento vertical y_r del neumático trasero del modelo de medio coche. Así, el proceso de estimación de perfil de superficie de carretera está terminado.

La Figura 7 es un diagrama que ilustra los parámetros determinados por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización. En la presente realización, la masa m_f del neumático delantero, la masa m_r del neumático trasero, el coeficiente de amortiguación c_f de la suspensión delantera, el coeficiente de amortiguación c_r de la suspensión trasera, el coeficiente de muelle k_f de la suspensión delantera, el coeficiente de muelle k_r de la suspensión trasera, el coeficiente de muelle k_{tf} del neumático delantero, el coeficiente de muelle k_{tr} del neumático trasero del modelo de medio coche, se determinan el momento de inercia I_z alrededor del eje de inclinación de la carrocería del vehículo y la distancia horizontal L_f desde el centro de gravedad del modelo de medio coche hasta el punto de contacto con el suelo del neumático delantero. Entre los parámetros, los que no son la distancia horizontal L_f desde el centro de gravedad hasta el punto de contacto con el suelo del neumático delantero se expresan como una relación con la masa total del vehículo $m_{tot}=m_H+m_f+m_r$.

La tabla ilustrada en la Figura 7 indica los errores entre la pluralidad de parámetros determinados y los valores verdaderos en un caso en el que el algoritmo genético para determinar una pluralidad de parámetros se ejecuta una pluralidad de veces. Por ejemplo, centrándonos en la masa m_f del neumático delantero, en un caso de la primera prueba, el error es del -18,4%, el error en la segunda prueba es del 5,1%, el error en la tercera prueba es del 26,4%, el error en la cuarta prueba es del -40,0%, y el error en la quinta prueba es del -39,3%. Como se ha descrito anteriormente, una característica del algoritmo genético es que los valores de los parámetros determinados difieren en función de los tiempos de ensayo. En cualquier caso de prueba, un valor de la función de evaluación F es igual o menor que el valor umbral.

La Figura 8 es un diagrama que ilustra una densidad espectral de potencia del perfil de superficie de carretera estimado por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización. En la Figura 8, el eje vertical expresa una densidad espectral de potencia (PSD) del perfil de superficie de carretera estimada en la unidad de $m^2/(ciclo/m)$, y el eje horizontal expresa una frecuencia (Frequency) en la unidad de ciclo/m. El eje vertical y el eje horizontal son ejes logarítmicos.

En la Figura 8, una densidad espectral calculada a partir de un perfil real de la superficie de carretera se indica mediante una línea continua, una densidad espectral calculada utilizando los parámetros en la primera prueba ilustrada en la Figura 7 se indica mediante una línea discontinua, una densidad espectral calculada utilizando los parámetros en la cuarta prueba ilustrada en la Figura 7 se indica mediante una línea de cadena de puntos, y una densidad espectral calculada utilizando los parámetros en la quinta prueba ilustrada en la Figura 7 se indica mediante una línea de cadena de dos puntos.

Según la Figura 8, las densidades espectrales calculadas utilizando los parámetros en el primer y cuarto ensayos son casi coherentes con la densidad espectral calculada a partir del perfil real de la superficie de carretera en todo el dominio de la frecuencia. Por otra parte, la densidad espectral calculada utilizando los parámetros en el quinto ensayo es diferente de la densidad espectral calculada a partir del verdadero perfil de superficie de carretera, especialmente en el dominio de las altas frecuencias.

La unidad de determinación 16 del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la presente realización puede realizar un análisis de regresión en el que un logaritmo de una densidad espectral de potencia calculada mediante el uso de los valores candidatos para una pluralidad de parámetros se utiliza como variable dependiente y un logaritmo de una frecuencia se utiliza como variable independiente, y puede determinar si emplear o no los valores candidatos en función de la comparación entre el coeficiente de determinación en el análisis de regresión y el valor umbral. Por ejemplo, la densidad espectral calculada utilizando los parámetros en el quinto ensayo se desvía de la línea recta del gráfico logarítmico doble, y el coeficiente de determinación en el análisis de regresión es igual o inferior al valor umbral. Así, la unidad de determinación 16 puede no emplear los parámetros en el quinto ensayo. Como se ha descrito anteriormente, es posible determinar con mayor precisión una pluralidad de parámetros.

La Figura 9 es un diagrama que ilustra un perfil de superficie de carretera estimado para el neumático delantero y un perfil de superficie de carretera estimado para el neumático trasero por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización. En la Figura 9, el eje vertical expresa un perfil de superficie de carretera en la unidad de metro (m), y el eje horizontal expresa una distancia recorrida (distancia) en la unidad de metro (m). En la Figura 9, se utiliza un vehículo de tamaño medio (mediano) como vehículo 30, un perfil de superficie de carretera estimado para el neumático delantero por el sistema de estimación de perfil de superficie de carretera 1 según la presente realización se indica mediante una línea continua, y un perfil de superficie de carretera estimado para el neumático trasero se indica mediante un conducto de cadena de puntos.

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la presente realización determina una pluralidad de parámetros P del modelo de simulación M1 de forma que la integración de la densidad espectral de potencia del perfil de superficie de carretera relacionado con el neumático delantero coincida con la integración de la densidad espectral de potencia del perfil de superficie de carretera relacionado con el neumático trasero. Según la Figura 9, puede confirmarse que los perfiles de superficie de carretera estimados mediante los parámetros P determinados de la forma descrita anteriormente coinciden sustancialmente entre sí para el neumático delantero y el neumático trasero.

La Figura 10 es un diagrama que ilustra una densidad espectral de potencia de un perfil de superficie de carretera estimado para el neumático delantero y una densidad espectral de potencia de un perfil de superficie de carretera estimado para el neumático trasero por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización. En la Figura 10, el eje vertical expresa una densidad espectral de potencia (PSD) del perfil de superficie de carretera estimada en la unidad de $\text{m}^2/(\text{ciclo}/\text{m})$, y el eje horizontal expresa una frecuencia (Frequency) en la unidad de ciclo/m. El eje vertical y el eje horizontal son ejes logarítmicos.

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la presente realización determina una pluralidad de parámetros P del modelo de simulación M1 de forma que la integración de la densidad espectral de potencia del perfil de superficie de carretera relacionado con el neumático delantero coincida con la integración de la densidad espectral de potencia del perfil de superficie de carretera relacionado con el neumático trasero. Según la Figura 10, puede confirmarse que las densidades espectrales de potencia de perfiles de superficie de carretera calculadas utilizando los parámetros P determinados de la forma descrita anteriormente coinciden sustancialmente entre sí para el neumático delantero y el neumático trasero.

La Figura 11 es un diagrama que ilustra una relación entre un IRI de la superficie de carretera estimado por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización y una distancia. En la Figura 11, el eje vertical expresa un perfil de superficie de carretera en la unidad de metro (m), y el eje horizontal expresa una distancia recorrida (distancia) en la unidad de metro (m). En la Figura 11, un IRI calculado por el sistema de estimación de perfil de superficie de carretera 1 según la presente realización utilizando un vehículo de tamaño medio (mediano) se indica mediante una línea continua, un IRI calculado por el sistema de estimación de perfil de superficie de carretera 1 según la presente realización utilizando un vehículo ligero (ligero) se indica mediante un conducto de puntos, un IRI calculado por el sistema de estimación de perfil de superficie de carretera 1 según la presente realización utilizando un vehículo grande (pesado) se indica mediante una línea discontinua, y un IRI medido utilizando un vehículo específico (perfilador) se indica mediante una línea de cadena de dos puntos.

Según la Figura 11, independientemente de si se utiliza como vehículo 30 el vehículo ligero, el vehículo mediano o el vehículo grande, puede confirmarse que el sistema de estimación de perfil de superficie de carretera 1 según la presente realización obtiene un resultado sustancialmente igual al IRI medido utilizando el vehículo dedicado. Como se ha descrito anteriormente, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 solicita que las densidades espectrales de potencia de los perfiles estimados de la superficie de carretera coincidan entre sí para el neumático delantero y el neumático trasero incluso en un caso en el que se desconozca una pluralidad de parámetros para modelar el vehículo 30, y puede así determinar adecuadamente una pluralidad de parámetros y estimar un perfil de superficie de carretera con gran precisión.

La Figura 12 es un diagrama que ilustra una relación entre una velocidad y una distancia de un vehículo utilizada para estimar un IRI de la superficie de carretera por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización. En la Figura 12, el eje vertical expresa una velocidad del vehículo 30 en la unidad de kilómetro por hora (km/h), y el eje horizontal expresa una distancia recorrida (distancia) en la unidad de kilómetro (km). En la Figura 12, la velocidad de un vehículo mediano (mediano) se indica mediante una línea continua, la velocidad de un vehículo ligero (ligero) se indica mediante una línea de puntos y la velocidad de un vehículo grande (pesado) se indica mediante una línea discontinua. Se puede observar en la Figura 12 que las velocidades del vehículo mediano, el ligero y el grande no son constantes, y los cambios temporales de las velocidades también son diferentes entre sí. Como se ha descrito anteriormente, aunque las velocidades de los vehículos 30 utilizados para medir la aceleración y la velocidad angular sean diferentes, el sistema de estimación de perfil de superficie de carretera 1 según la presente realización puede determinar adecuadamente una pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1 y puede estimar de forma estable un perfil de superficie de carretera. El sistema de estimación de perfil de superficie de carretera 1 según la presente realización puede estimar un perfil de superficie de carretera con gran precisión independientemente de un tamaño o una velocidad de desplazamiento del vehículo 30 provisto del teléfono inteligente 20 que lleva incorporados el acelerómetro 21 y el medidor de velocidad angular 22.

[Segunda modalidad]

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la presente realización tiene las mismas funciones que las del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización, salvo que la unidad de determinación 16 realiza un proceso diferente. La unidad de determinación 16 del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la presente realización determina una pluralidad de parámetros P tales que un valor absoluto de una función de evaluación que incluye una diferencia entre una primera función calculada a partir de variables que representan un desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero y una segunda función calculada a partir de variables que representan un desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero es pequeño. Aquí, la primera función es un valor $y_f(y)$ de variables que representan el desplazamiento vertical del neumático delantero en un punto temporal predeterminado t , y la segunda función es un valor $y_r(t+L/v(t))$ de variables que representan el desplazamiento vertical del neumático trasero en un punto temporal $(t+L/v(t))$ obtenido sumando, al punto temporal predeterminado, un valor que se obtiene dividiendo una distancia $L (=L_f+L_r)$ del neumático delantero al neumático trasero por una velocidad $v(t)$ del vehículo 30 en el punto temporal predeterminado t . Aquí, la velocidad $v(t)$ del vehículo 30 puede ser un valor medido por un velocímetro provisto en el vehículo 30 o un valor medido sobre la base de la información de posición GPS. La función de evaluación F puede expresarse, por ejemplo, mediante la siguiente Ecuación (36).

[Ecuación 36]

$$F = \int_{t_a}^{t_b} (y_f(t) - y_r(t + L/v(t))) dt$$

Aquí, t representa el tiempo, y t_a y t_b representan los tiempos límite inferior y superior de integración. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 determina si emplea o no valores candidatos para una pluralidad de parámetros dependiendo de si un valor de la función de evaluación F es igual o menor que un valor umbral. El valor umbral puede fijarse libremente y puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 10^{-4} .

Como se ha descrito anteriormente, se corrige que la variable que representa el desplazamiento vertical del neumático delantero y la variable que representa el desplazamiento vertical del neumático trasero se estima que se desvían en una longitud de distancia entre ejes, y así se puede determinar una pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1.

La Figura 13 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de determinación de parámetros ejecutado por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la segunda realización de la presente invención. En primer lugar, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 establece valores candidatos para una pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1 (S20).

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 estima los perfiles de superficie de carretera para el neumático delantero y el neumático trasero utilizando el conjunto de valores candidatos para los parámetros P (S21). Los detalles del proceso de estimación de perfiles de superficie de carretera son los mismos que los de la Figura 6.

A continuación, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 calcula el valor $y_f(y)$ de la variable que representa el desplazamiento vertical del neumático delantero y el valor $y_r(t+L/v(t))$ de la variable que representa el desplazamiento vertical del neumático trasero, obtenidos mediante la corrección de un retardo de la longitud de la distancia entre ejes, y determina si una diferencia entre los perfiles de superficie de carretera es igual o inferior a un valor umbral (S22). Es decir, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 determina si un valor de la función de evaluación F expresado por la Ecuación (36) es igual o menor que el valor umbral.

En caso de que el valor de la función de evaluación F no sea igual o inferior al valor umbral (S22: NO), el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 ejecuta procesos de selección, cruce y mutación sobre la pluralidad de parámetros P, y establece así nuevos valores candidatos (S23). Los nuevos valores candidatos para los parámetros se utilizan para realizar repetidamente la estimación de perfiles de superficie de carretera (S21) y la comparación entre un valor de la función de evaluación F y el valor umbral (S22). Aquí, los procesos de selección, cruce y mutación pueden ser procesos utilizados en un algoritmo genético existente. Una pluralidad de parámetros P se determinan utilizando el algoritmo genético, y así los parámetros apropiados P pueden determinarse eficientemente incluso en un caso en el que el número de la pluralidad de parámetros P aumenta y una búsqueda completa es difícil.

Por otra parte, en un caso en el que el valor de la función de evaluación F sea igual o inferior al valor umbral (S22: YES), el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 determina los parámetros calculados como una pluralidad de parámetros P del modelo de simulación M1 (S24). Así, el proceso de determinación de los parámetros ha finalizado.

[Otro ejemplo]

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según otro ejemplo no conforme con la invención reivindicada tiene las mismas funciones que las del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según la primera realización, salvo que la unidad de determinación 16 realiza un proceso diferente. La unidad de determinación 16 del dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según el presente ejemplo determina una pluralidad de parámetros P tales que un valor absoluto de una función de evaluación para evaluar una diferencia entre un perfil de superficie de carretera estimado en una primera condición y un perfil de superficie de carretera estimado en una segunda condición sea pequeño. Aquí, el perfil de superficie de carretera estimado en la primera condición es un perfil de superficie de carretera estimado por la unidad de estimación 15 en un caso en el que el vehículo 30 ha circulado por una carretera predeterminada a una primera velocidad v_1 , y el perfil de superficie de carretera estimado en la segunda condición es un perfil de superficie de carretera estimado por la unidad de estimación 15 en un caso en el que el vehículo 30 ha circulado por la carretera predeterminada a una segunda velocidad v_2 diferente de la primera velocidad v_1 . Aquí, la primera velocidad v_1 y la segunda velocidad v_2 pueden ser valores dependientes del tiempo, respectivamente. La primera velocidad v_1 y la segunda velocidad v_2 pueden ser valores medidos por un velocímetro provisto en el vehículo 30, o pueden ser valores medidos en base a la información de posición del GPS. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según el presente ejemplo puede determinar una pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1 bajo la petición de que el perfil de superficie de carretera estimado en un caso en el que el vehículo ha circulado por una carretera predeterminada a la primera velocidad v_1 y el perfil de superficie de carretera estimado en un caso en el que el vehículo ha circulado por la carretera predeterminada a la segunda velocidad v_2 deben coincidir entre sí.

La función de evaluación F puede utilizarse para evaluar una diferencia entre un índice internacional de rugosidad IRI_{v1} del perfil de superficie de carretera estimado en la primera condición y un índice internacional de rugosidad IRI_{v2} del perfil de superficie de carretera estimado en la segunda condición. La función de evaluación F puede expresarse, por ejemplo, mediante la siguiente Ecuación (37).

[Ecuación 37]

$$F = \int_{xa}^{xb} (IRI_{v1}(x) - IRI_{v2}(x)) dx$$

Aquí, x representa una distancia, y x_a y x_b representan los tiempos límite inferior y superior de integración. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 determina si emplea o no valores candidatos para una pluralidad de parámetros dependiendo de si un valor de la función de evaluación F es igual o menor que un valor umbral. El valor umbral puede fijarse libremente y puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 10^{-4} .

Como se ha descrito anteriormente, los índices internacionales de rugosidad se calculan a partir de perfiles de superficie de carretera estimados en la primera condición y en la segunda condición, y la pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1 se determinan de forma que se reduzca la diferencia entre los índices internacionales de rugosidad estimados en ambas condiciones. Por lo tanto, es posible determinar la pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1 junto con la estimación de perfiles de superficie de carretera.

La Figura 14 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de determinación de parámetros ejecutado por el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 según el presente ejemplo. En primer lugar, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 establece valores candidatos para una pluralidad de parámetros P incluidos en el modelo de simulación M1 (S30).

El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 estima los perfiles de superficie de carretera en un caso en el que el vehículo ha circulado a una primera velocidad y en un caso en el que el vehículo ha circulado a una segunda velocidad utilizando el conjunto de valores candidatos para los parámetros P (S31). Los detalles del proceso de estimación de perfiles de superficie de carretera son los mismos que los de la Figura 6.

A continuación, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 calcula el IRI_{v1} en el caso de que el vehículo haya circulado a la primera velocidad y el IRI_{v2} en el caso de que el vehículo haya circulado a la segunda velocidad (S32). El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 determina si una diferencia entre los IRI es igual o inferior a un valor umbral (S33). Es decir, el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 determina si un valor de la función de evaluación F expresado por la Ecuación (37) es igual o menor que el valor umbral.

En caso de que el valor de la función de evaluación F no sea igual o inferior al valor umbral (S33: NO), el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 ejecuta procesos de selección, cruce y mutación sobre la pluralidad de parámetros P, y establece así nuevos valores candidatos (S33). Los nuevos valores candidatos para los parámetros se utilizan para realizar repetidamente la estimación de perfiles de superficie de carretera (S31), el cálculo de los IRI (S32) y la comparación entre un valor de la función de evaluación F y el valor umbral (S33). Aquí, los procesos de selección, cruce y mutación pueden ser procesos utilizados en un algoritmo genético existente. Una pluralidad de parámetros P se determinan utilizando el algoritmo genético, y así los parámetros apropiados P pueden determinarse eficientemente

incluso en un caso en el que el número de la pluralidad de parámetros P aumenta y una búsqueda completa es difícil.

Por otra parte, cuando el valor de la función de evaluación F es igual o inferior al valor umbral (S33: YES), el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera 10 determina los parámetros calculados como una pluralidad de parámetros P del modelo de simulación M1 (S35). Así, el proceso de determinación de los parámetros ha finalizado.

Las realizaciones descritas anteriormente son para facilitar la comprensión de la presente invención, y no son para limitar la interpretación de la presente invención según las reivindicaciones anexas.

10 Lista de signos de referencia

- 1 sistema de estimación de perfil de superficie de carretera
- 10 dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera
- 10a CPU
- 15 10b RAM
- 10c ROM
- 10d unidad de comunicación
- 10e unidad de entrada
- 10f unidad de visualización
- 20 11 unidad de adquisición
- 12 unidad de predicción
- 13 unidad de cálculo
- 14 unidad de actualización
- 15 unidad de estimación
- 25 16 unidad de determinación
- 17 unidad de almacenamiento
- 20 teléfono inteligente
- 21 acelerómetro
- 22 medidor de velocidad angular
- 30 Modelo de simulación M1
- Modelo de observación M2
- N red de comunicación
- P parámetro

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera (10) que comprende:

- 5 una unidad de adquisición (11) configurada para adquirir (S110) magnitudes físicas que representan un movimiento de un vehículo que se desplaza sobre una superficie de carretera;
una unidad de predicción (12) configurada para predecir (S112), sobre la base de un modo de simulación (M1) que incluye una pluralidad de parámetros (P), una evolución temporal de las variables de estado que incluyen variables que representan un desnivel de la superficie de carretera por la que circula el vehículo y variables que representan las magnitudes físicas, siendo el modelo de simulación un modelo de medio coche para el vehículo;
10 una unidad de cálculo (13) configurada para calcular (S113) valores de observación de las magnitudes físicas a partir de las variables de estado predichas por la unidad de predicción sobre la base de un modelo de observación (M2);
una unidad de actualización (14) configurada para actualizar (S114) las variables de estado mediante la asimilación de datos entre las magnitudes físicas adquiridas por la unidad de adquisición y las magnitudes físicas calculadas por la
15 unidad de cálculo;
una unidad de estimación (15) configurada para estimar (S117) los perfiles respectivos de la superficie de carretera en una primera condición y en una segunda condición sobre la base de variables que representen la irregularidad de la superficie de carretera, incluidas en las variables de estado;
en donde
20 el perfil de superficie de carretera estimado en la primera condición es un perfil de superficie de carretera estimado a partir de variables que representan un desplazamiento vertical y la velocidad de un neumático delantero del modelo de medio coche, y
el perfil de superficie de carretera estimado en la segunda condición es un perfil de superficie de carretera estimado sobre la base de variables que representan un desplazamiento vertical y la velocidad de un neumático trasero del modelo de
25 medio coche;
caracterizado porque
una unidad de determinación configurada para determinar la pluralidad de parámetros de forma que un valor absoluto de una función de evaluación para evaluar una diferencia entre el perfil de superficie de carretera estimado en la primera condición y el perfil de superficie de carretera estimado en la segunda condición sea igual o menor que un valor umbral,
30 en el que
la función de evaluación incluye una diferencia entre una primera función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero y una segunda función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero.
- 35 2. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la unidad de actualización actualiza una matriz de varianza-covarianza del ruido añadido a las variables de estado en el modelo de simulación y una matriz de varianza-covarianza del ruido añadido a los valores de observación de las magnitudes físicas en el modelo de observación sobre la base de una diferencia entre las magnitudes físicas adquiridas por la unidad de adquisición y las magnitudes físicas calculadas por la unidad de cálculo.
- 40 3. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera de acuerdo con la reivindicación 1, en donde
la primera función es una densidad espectral de potencia del perfil de superficie de carretera calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero, y
45 la segunda función es una densidad espectral de potencia del perfil de superficie de carretera calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero.
- 50 4. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera de acuerdo con la reivindicación 3, en donde la unidad de determinación realiza un análisis de regresión en el que un logaritmo de la densidad espectral de potencia calculada mediante el uso de valores candidatos para la pluralidad de parámetros se utiliza como variable dependiente y un logaritmo de una frecuencia se utiliza como variable independiente, y determina si emplear o no los valores candidatos en función de la comparación entre un coeficiente de determinación en el análisis de regresión y un valor umbral.
- 55 5. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera de acuerdo con la reivindicación 1, en donde
la primera función es un valor de variables que representa un desplazamiento vertical del neumático delantero en un punto temporal predeterminado, y
la segunda función es un valor de variables que representa un desplazamiento vertical del neumático trasero en un punto temporal obtenido sumando, al punto temporal predeterminado, un valor que se obtiene dividiendo una distancia del
60 neumático delantero al neumático trasero por una velocidad del vehículo en el punto temporal predeterminado.
6. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde la unidad de determinación determina la pluralidad de parámetros mediante un algoritmo genético.
- 65 7. El dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde

el modelo de simulación es un modelo que representa la evolución temporal de las variables de estado mediante la transformación lineal de las variables de estado y el ruido gaussiano,
 el modelo de observación es un modelo para calcular los valores de observación de las magnitudes físicas utilizando la transformación lineal de las variables de estado y el ruido gaussiano, y
 la unidad de actualización actualiza las variables de estado de forma que se minimice el error cuadrático de las variables de estado.

8. Un sistema de estimación de perfil de superficie de carretera que comprende:

un vehículo (30) configurado para circular por una superficie de carretera;
 una unidad de medida configurada para medir magnitudes físicas que representen un movimiento del vehículo; y
 el dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

9. Un método de estimación de perfil de superficie de carretera que comprende: adquirir (S110) magnitudes físicas que representen un movimiento de un vehículo que se desplaza sobre una superficie de carretera;

predecir (S112), sobre la base de un modelo de simulación (M1) que incluye una pluralidad de parámetros (P), una evolución temporal de las variables de estado que incluyen variables que representan un desnivel de la superficie de carretera por la que circula el vehículo y variables que representan las magnitudes físicas, en donde el modelo de simulación es un modelo de medio coche para el vehículo;
 calcular (S113) los valores de observación de las magnitudes físicas a partir de las variables de estado predichas sobre la base de un modelo de observación (M2);
 actualizar (S114) las variables de estado mediante la asimilación de datos entre las magnitudes físicas adquiridas y las magnitudes físicas calculadas;
 estimación (S117) de los perfiles respectivos de superficie de carretera en una primera condición y en una segunda condición sobre la base de las variables que representan la irregularidad de superficie de carretera, incluidas en las variables de estado;

en donde
 el perfil de superficie de carretera estimado en la primera condición es un perfil de superficie de carretera estimado a partir de variables que representan un desplazamiento vertical y la velocidad de un neumático delantero del modelo de medio coche, y
 el perfil de superficie de carretera estimado en la segunda condición es un perfil de superficie de carretera estimado sobre la base de variables que representan un desplazamiento vertical y la velocidad de un neumático trasero del modelo de medio coche;

caracterizado porque

determinar la pluralidad de parámetros de forma que un valor absoluto de una función de evaluación para evaluar una diferencia entre el perfil de superficie de carretera estimado en la primera condición y el perfil de superficie de carretera estimado en la segunda condición sea igual o menor que un valor umbral, en donde
 la función de evaluación incluye una diferencia entre una primera función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero y una segunda función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero.

10. Un programa de estimación de perfil de superficie de carretera que hace que una unidad de cálculo proporcionada en un dispositivo de estimación de perfil de superficie de carretera funcione como:

una unidad de adquisición (11) configurada para adquirir (S110) magnitudes físicas que representan un movimiento de un vehículo que se desplaza sobre una superficie de carretera;

una unidad de predicción (12) configurada para predecir (S112), sobre la base de un modo de simulación (M1) que incluye una pluralidad de parámetros (P), una evolución temporal de las variables de estado que incluyen variables que representan un desnivel de la superficie de carretera por la que circula el vehículo y variables que representan las magnitudes físicas, en donde el modelo de simulación es un modelo de medio coche para el vehículo;

una unidad de cálculo (13) configurada para calcular (S113) valores de observación de las magnitudes físicas a partir de las variables de estado predichas por la unidad de predicción sobre la base de un modelo de observación (M2);

una unidad de actualización (14) configurada para actualizar (S114) las variables de estado mediante la asimilación de datos entre las magnitudes físicas adquiridas por la unidad de adquisición y las magnitudes físicas calculadas por la unidad de cálculo;

una unidad de estimación (15) configurada para estimar (S117) los perfiles respectivos de la superficie de carretera en una primera condición y en una segunda condición sobre la base de las variables que representan la irregularidad de la superficie de carretera, incluidas en las variables de estado; y

en donde
 el perfil de superficie de carretera estimado en la primera condición es un perfil de superficie de carretera estimado a partir de variables que representan un desplazamiento vertical y la velocidad de un neumático delantero del modelo de medio coche, y
 el perfil de superficie de carretera estimado en la segunda condición es un perfil de superficie de carretera estimado sobre

la base de variables que representan un desplazamiento vertical y la velocidad de un neumático trasero del modelo de medio coche;

caracterizado porque el programa de estimación de perfil de superficie de carretera hace además que la unidad de cálculo funcione como:

5

una unidad de determinación configurada para determinar la pluralidad de parámetros de forma que un valor absoluto de una función de evaluación para evaluar una diferencia entre el perfil de superficie de carretera estimado en la primera condición y el perfil de superficie de carretera estimado en la segunda condición sea igual o menor que un valor umbral, en donde

10

la función de evaluación incluye una diferencia entre una primera función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático delantero y una segunda función calculada a partir de las variables que representan el desplazamiento vertical y la velocidad del neumático trasero.

Fig. 1

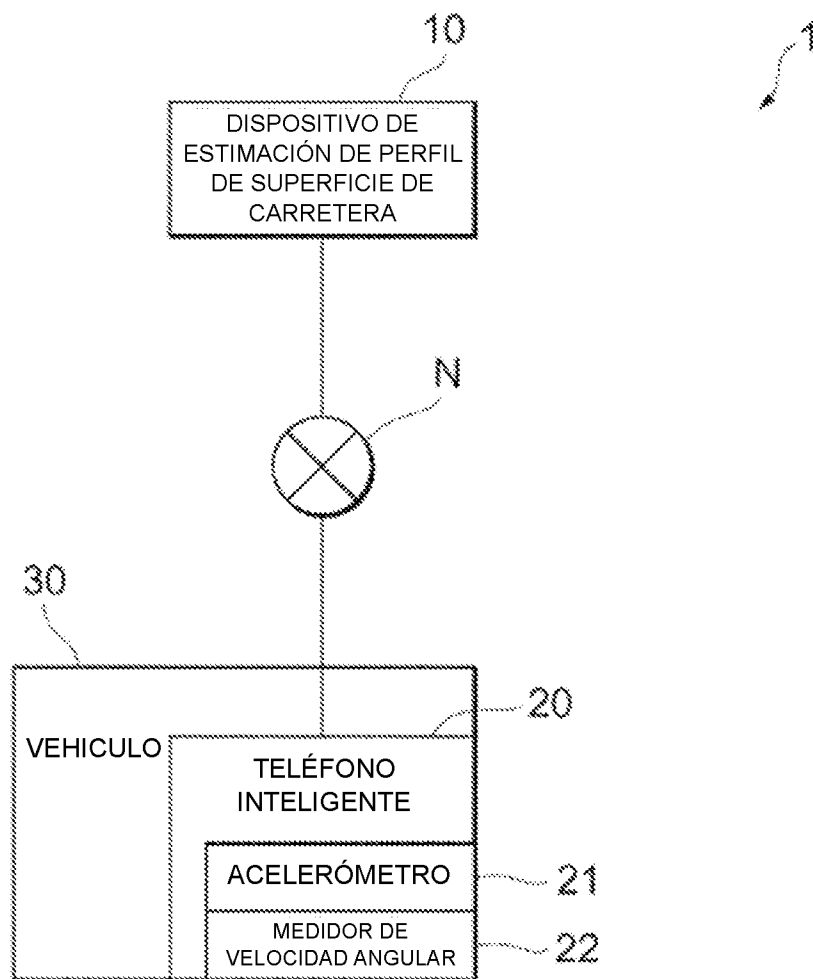


Fig. 2

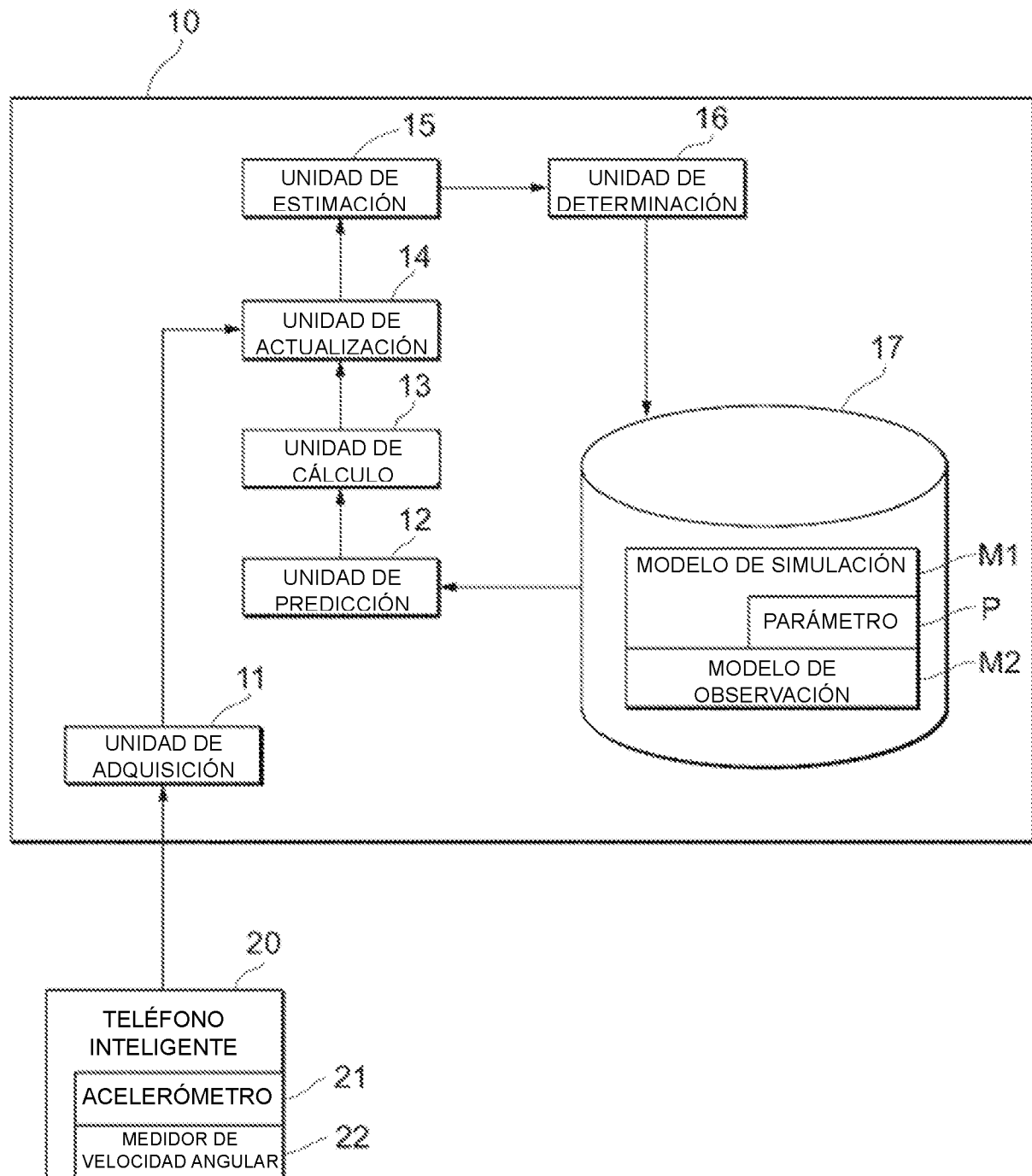


Fig. 3

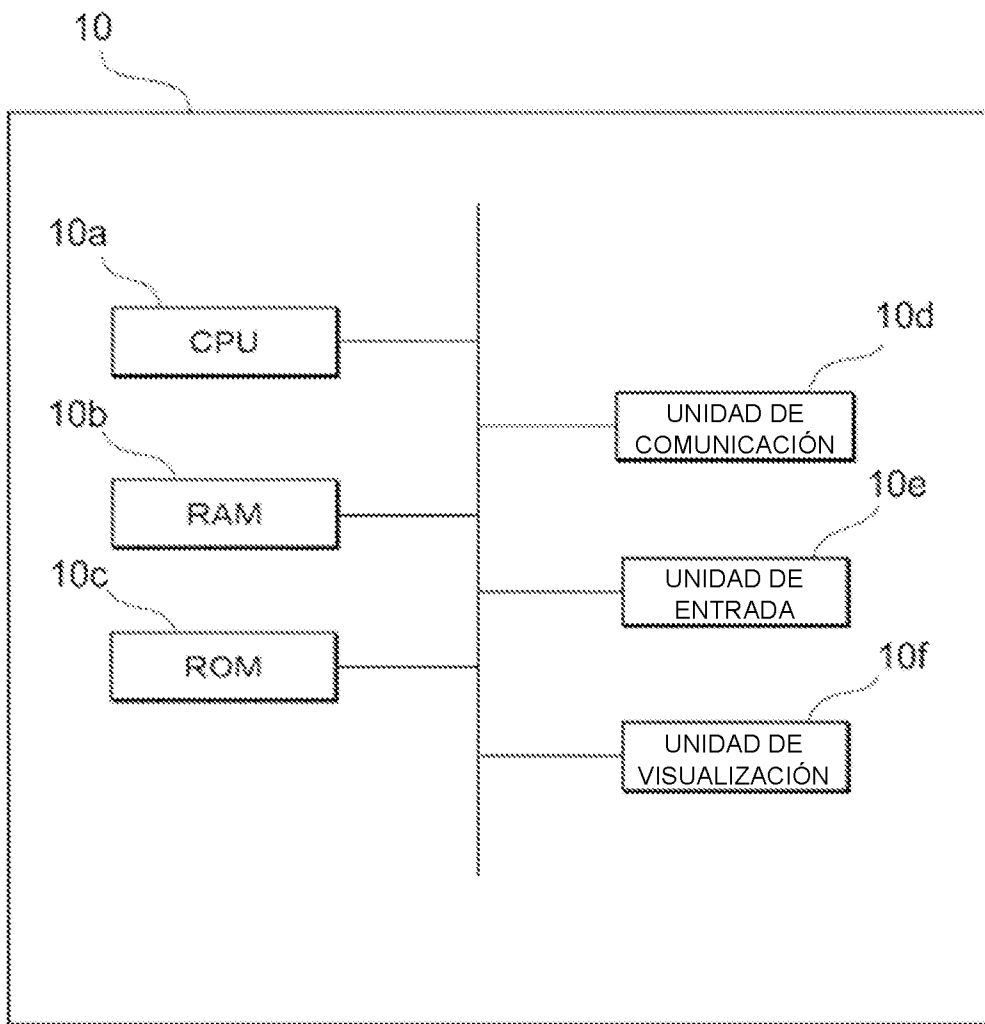


Fig. 4

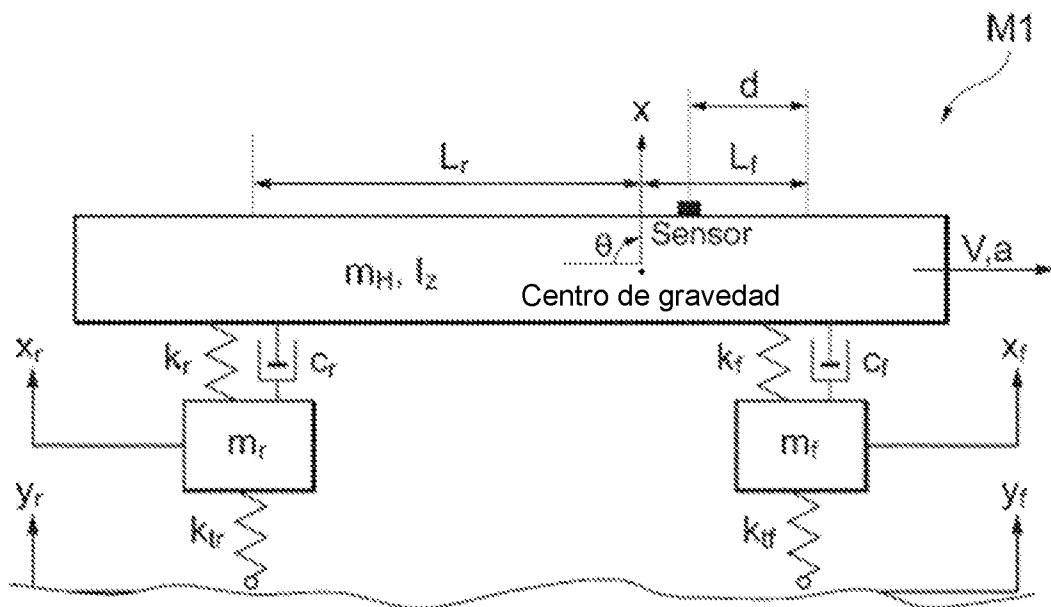


Fig. 5

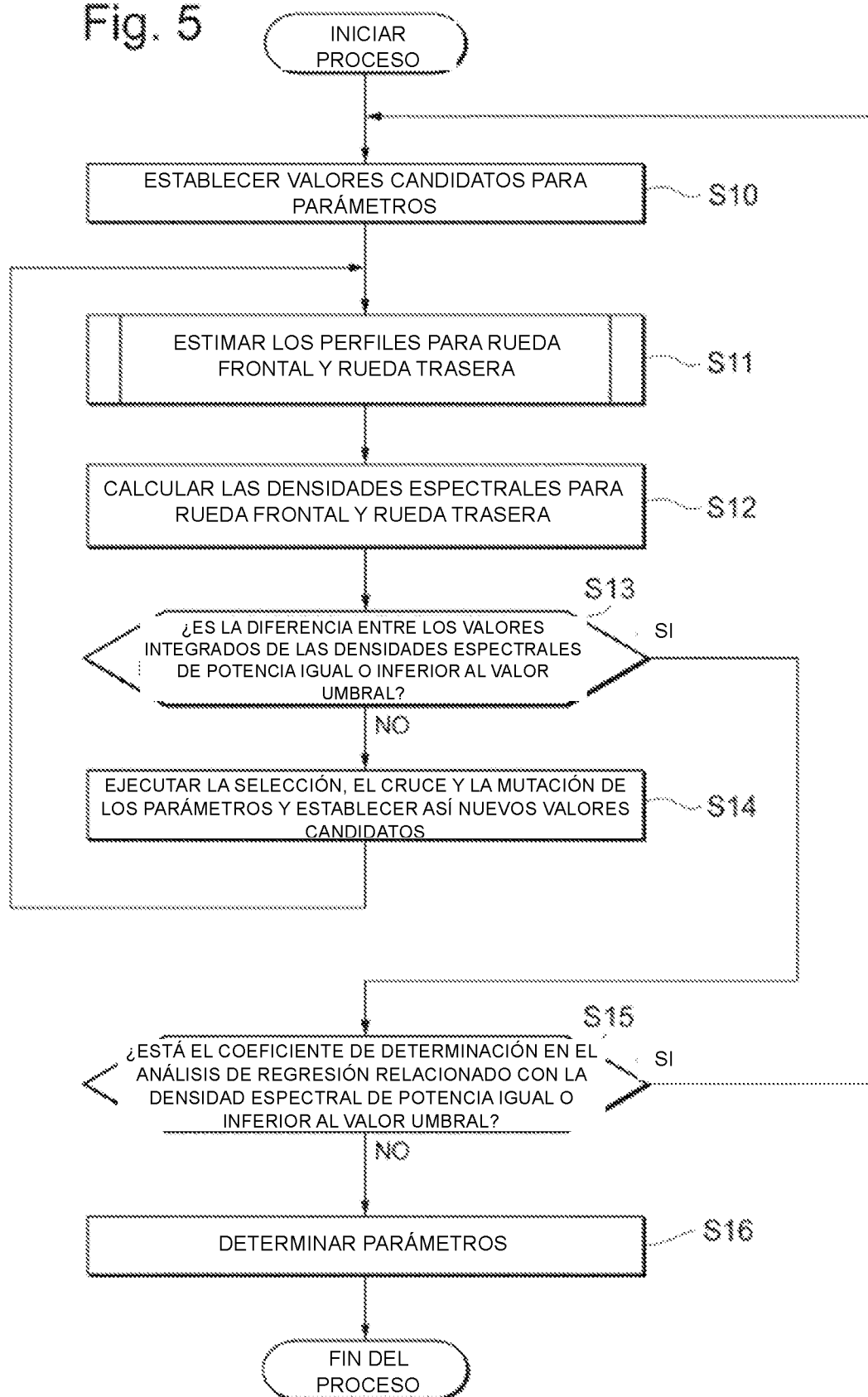


Fig. 6

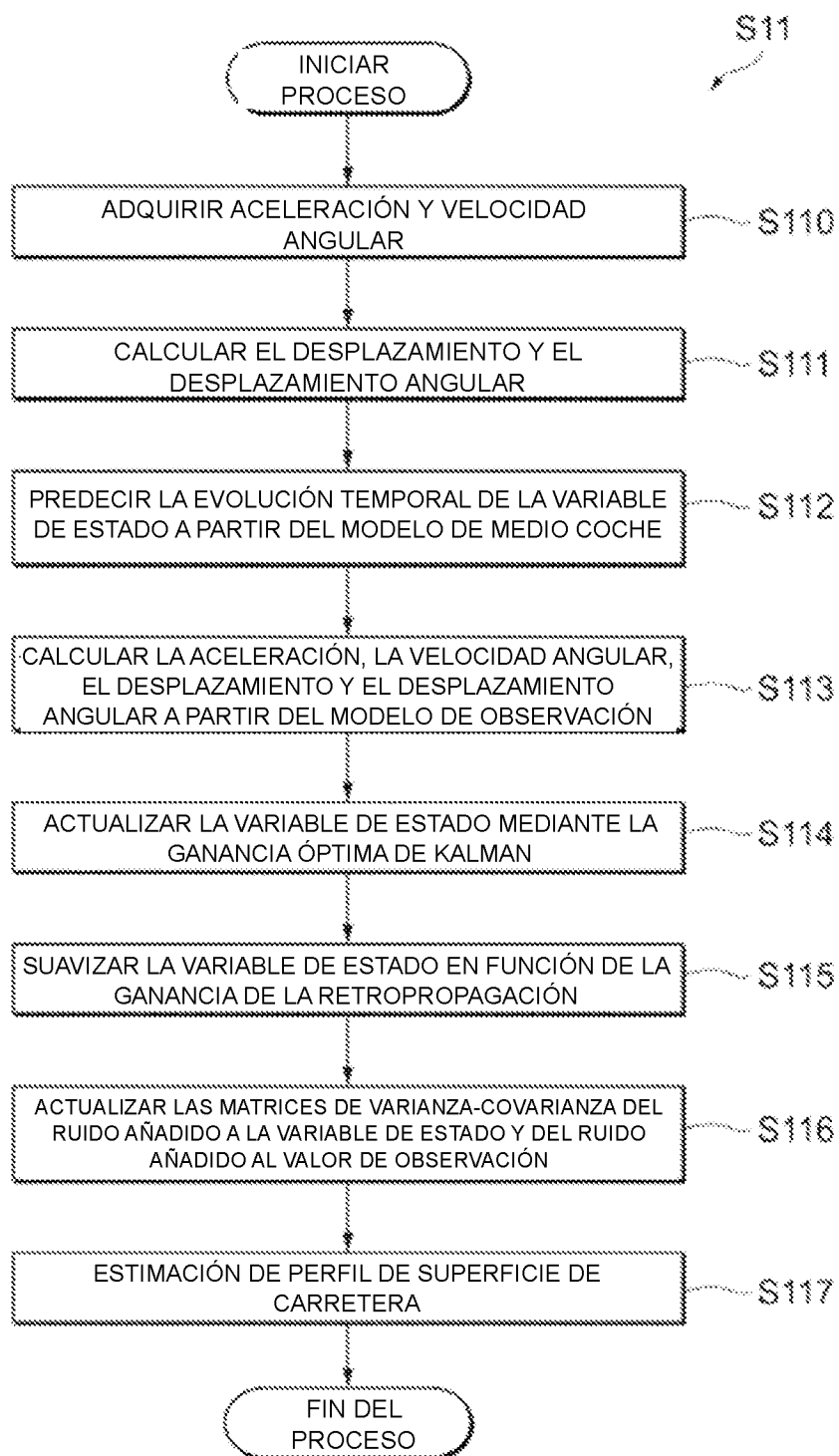


Fig. 7

Ensayo	m_f	m_r	c_f	c_r	k_f	k_r	k_{gf}	k_{gr}	l_z	L_f
Primero	-18,4	2,3	26,4	-19,7	16,0	3,4	10,9	-8,1	-0,6	-15,7
Segundo	5,1	17,4	12,4	-4,5	2,9	13,2	-1,2	0,2	3,6	-2,2
Tercero	26,4	19,9	0,5	-18,6	-1,3	-2,5	74,3	34,7	-2,4	-7,7
Cuarto	-40,0	-7,4	60,0	-1,1	20,6	48,0	-9,5	-9,7	26,9	-7,1
Quinto	-39,3	-38,2	134,4	43,1	60,2	60,2	-69,1	-67,3	9,4	-6,0

Fig. 8

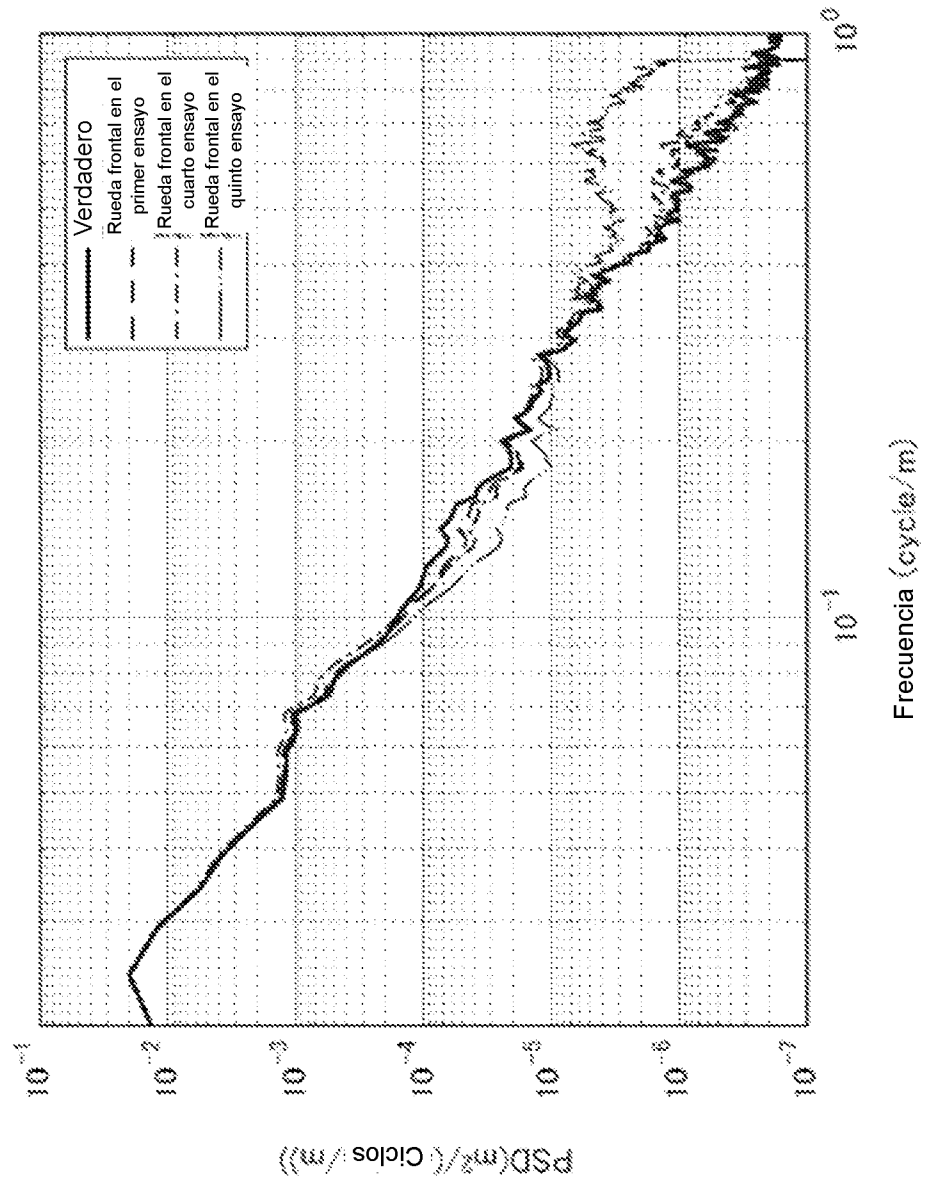


Fig. 9

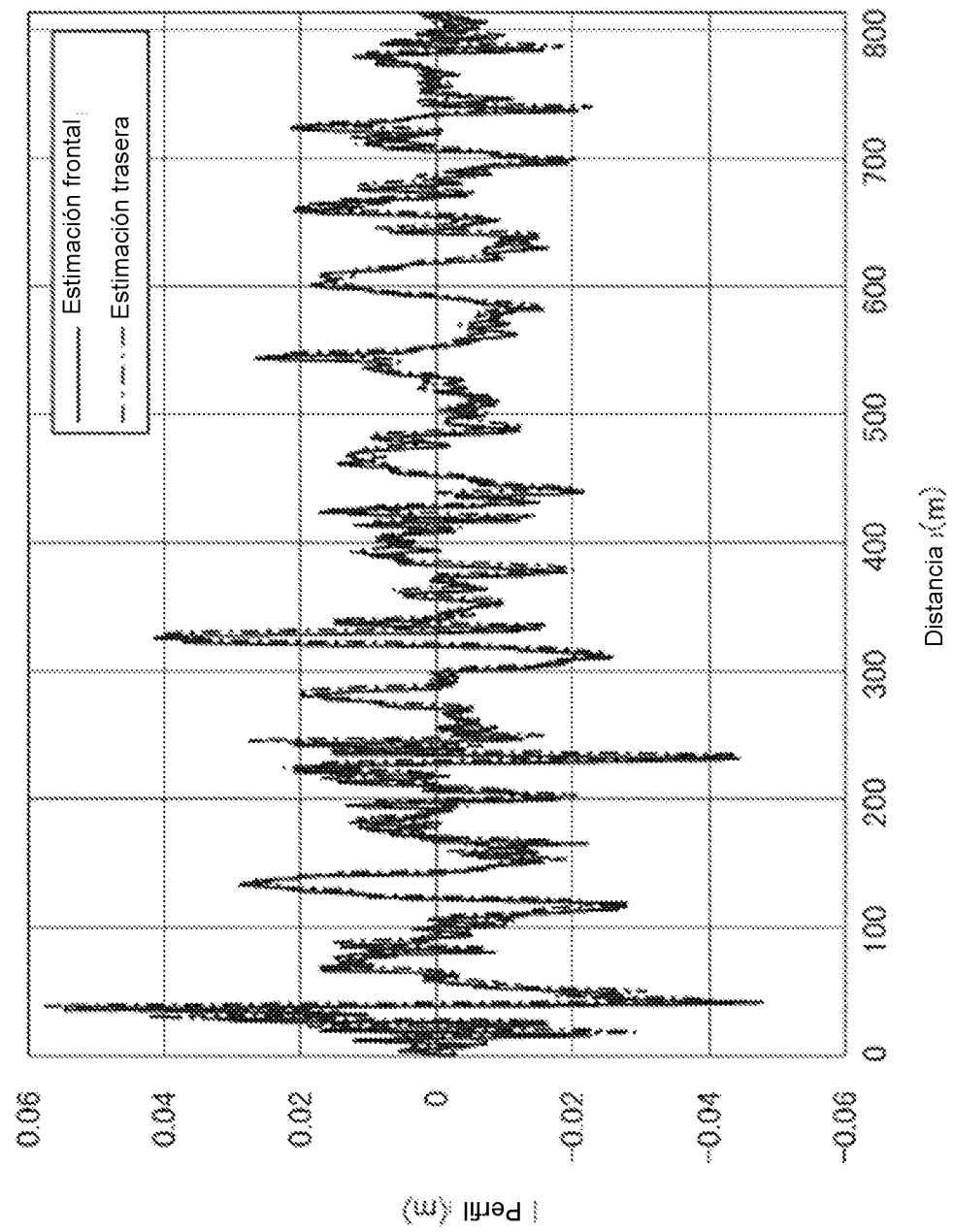


Fig. 10

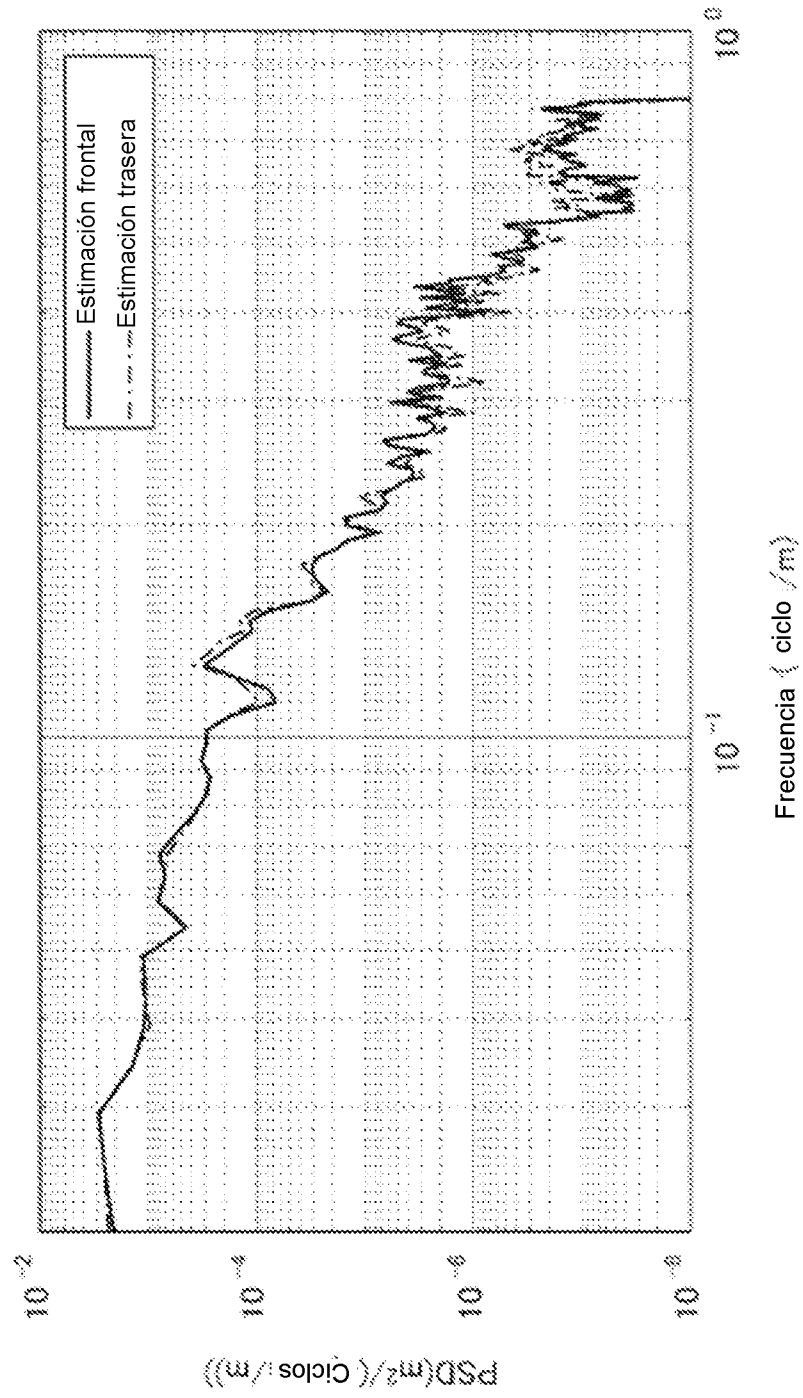


Fig. 11

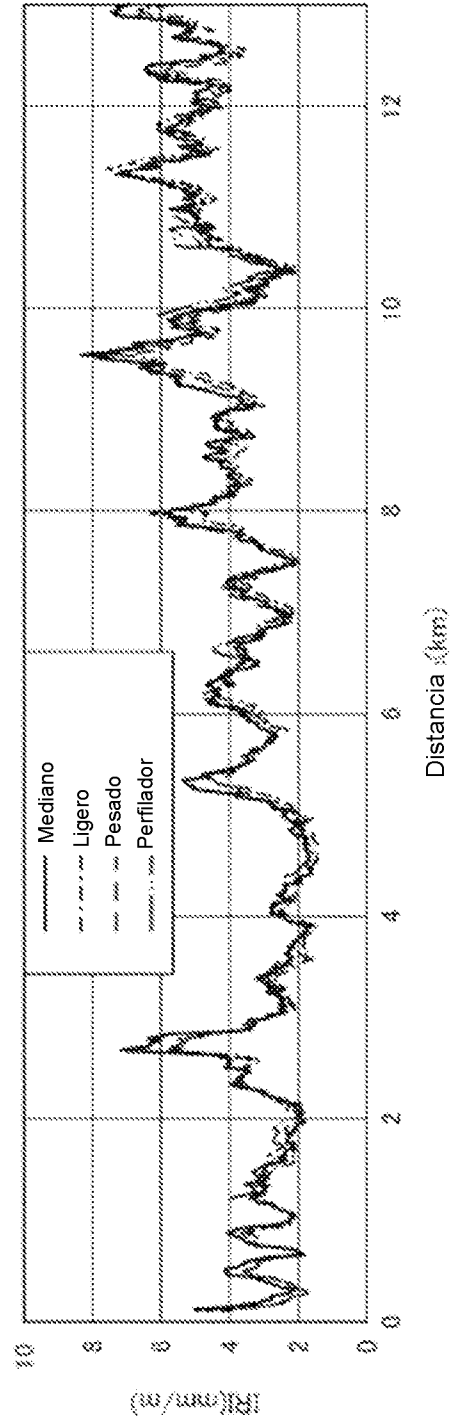


Fig. 12

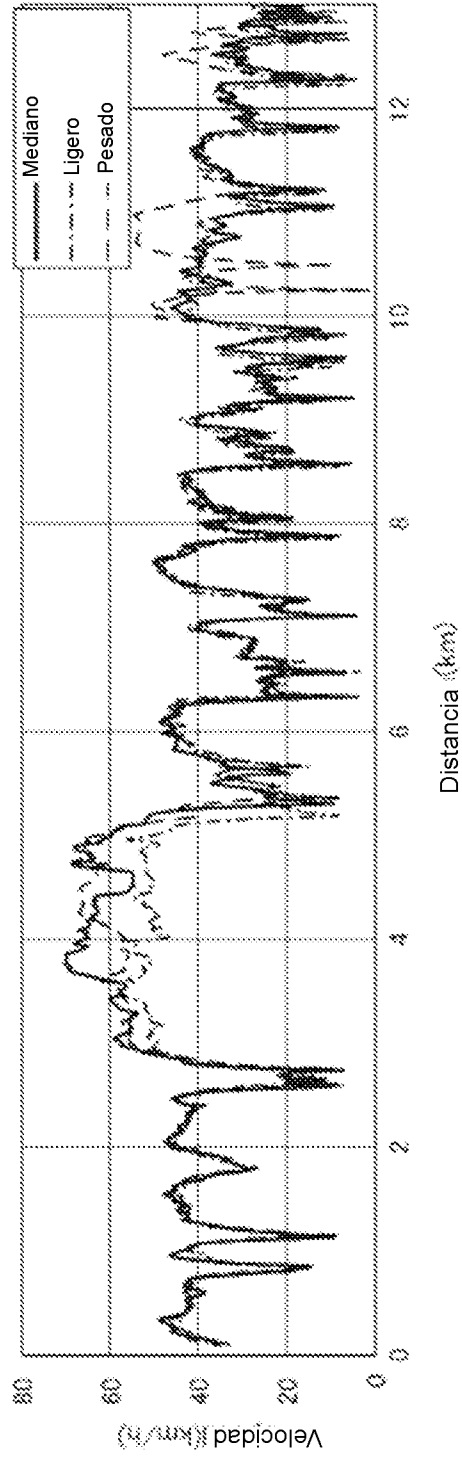


Fig. 13

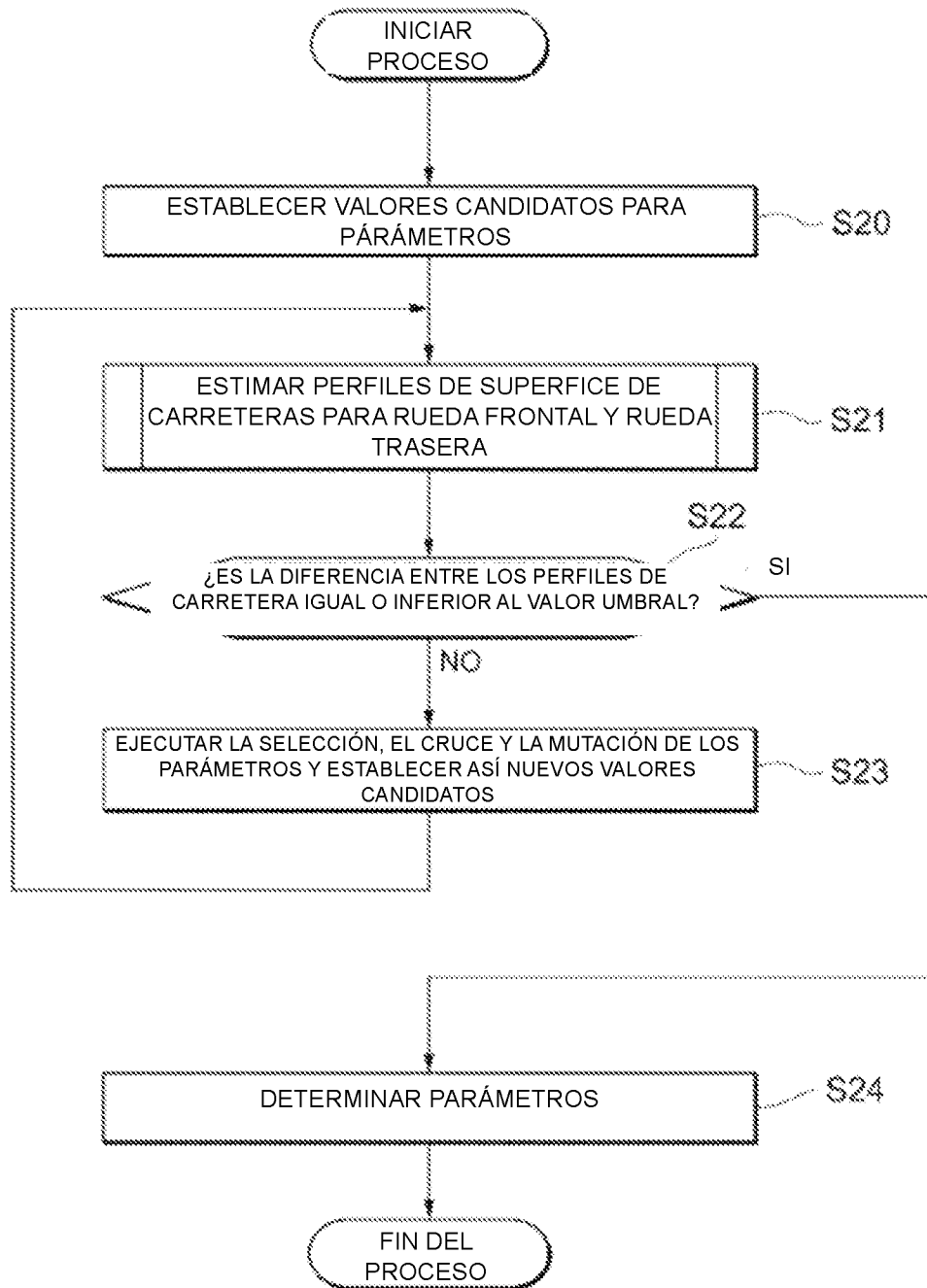


Fig. 14

