

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 505**

51 Int. Cl.:

G01G 19/08 (2006.01)

B60T 8/172 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.12.2007 PCT/EP2007/010472**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.06.2009 WO09071104**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.12.2007 E 07846961 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.03.2018 EP 2215438**

54 Título: **Estimación de la carga de un vehículo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.06.2018

73 Titular/es:
**NIRA DYNAMICS AB (100.0%)
Wallenbergs gata 4
58330 Linköping, SE**

72 Inventor/es:
**KARLSSON, RICKARD;
JOSEFSSON, JONAS y
ANDERSSON, ANDREAS**

74 Agente/Representante:
SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 672 505 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

Estimación de la carga de un vehículo

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere, en general, a la estimación de la carga de un vehículo y, más específicamente a una estimación de la masa actual de un vehículo basándose en la información relacionada con el vehículo procesada por una disposición de filtro.

10

Antecedentes de la invención

Conocer el peso total de un vehículo (es decir, el propio peso del vehículo y, si está presente, el peso de carga) es de gran interés en muchas aplicaciones de automoción. Muchas decisiones de control y los sistemas de diagnóstico pueden mejorarse si este parámetro puede estimarse con precisión. Por ejemplo, un sistema de monitorización de presión de neumáticos indirecta usa el radio de rodadura de la rueda como indicador de baja presión de neumáticos. Ya que el radio de rodadura se correlaciona con la masa del vehículo, el conocimiento de la carga en el vehículo es de gran importancia.

15

20

El documento US 5.973.273 desvela montar, como sensores adicionales, unos acelerómetros verticales en el vehículo y buscar cambios en el comportamiento de frecuencia del desplazamiento vertical del vehículo. En este caso, la necesidad de obtener resultados de sensores adicionales es un inconveniente, que tampoco permite el uso de este enfoque en los vehículos existentes sin modificaciones.

25

El documento US 2002/0038193 A1 desvela estimar la carga de un camión pesado basándose en la información sobre la presión de un sistema de suspensión neumática. Ya que este enfoque está limitado a vehículos que tienen suspensión neumática, no es posible una aplicación general en el campo de la automoción.

30

El documento EP 1 829 714 A1 usa unos modelos de neumáticos junto con la información de presión de los sensores directos de presión de neumático y los radios de rodadura de las ruedas para calcular la carga de un vehículo. Este enfoque no es útil en aplicaciones donde se determinan la presión de neumático y/o el radio de las ruedas.

35

Otros enfoques incluyen calcular la masa del vehículo basándose en la dinámica longitudinal de un vehículo como se desvela en el documento US 2005/0010356 A1 y la estimación de la masa del vehículo usando un filtrado de cuadrados mínimos recursivo (RLS) como se desvela en el documento US 6.167.357.

40

El documento WO 03/029764 desvela un método para determinar la masa de un vehículo de motor mientras que se tienen en cuenta las diferentes situaciones de conducción, implicando una evaluación de una aceleración del vehículo.

El documento GB 2 336 683 A desvela estimar la masa de un vehículo de manera recursiva a partir de la velocidad del vehículo y los datos de fuerza de empuje.

45

El cálculo de masas basado en la dinámica longitudinal de un vehículo no da como resultado la estimación de masa fiable si, por ejemplo, la aceleración del vehículo y/o el par torsión de salida del motor que se usan en la estimación son bajos. El uso de un filtrado de cuadrados mínimos recursivo (RLS) requiere un tiempo considerable para proporcionar resultados útiles (por ejemplo, del orden de 10 minutos) y es sensible a los cambios repentinos de las situaciones de conducción.

50

Objeto de la invención

Es un objeto de la invención proporcionar soluciones para una estimación más fiable y más rápida de la carga actual del vehículo utilizable sin limitación para los tipos de vehículos específicos.

55

Breve descripción de la invención

Para resolver el objeto anterior, la presente invención proporciona un método, un aparato y un producto de programa informático para estimar cada uno la carga actual de un vehículo como se define en las reivindicaciones independientes.

60

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un método para estimar la carga actual de un vehículo, comprendiendo el método las etapas de:

65

- definir al menos dos clases de peso;
- proporcionar un banco de filtros que incluye, para cada una de las al menos dos clases de peso, un filtro,

implementando cada filtro un modelo de vehículo para estimar la carga actual del vehículo;

- suministrar, a cada filtro, al menos un dato de vehículo indicativo de una situación de conducción actual del vehículo, y al menos un parámetro de filtro actual específico para la clase de peso respectiva;
- determinar, por medio de cada filtro, un valor de estimación de carga como estimación específica de filtro de la carga actual del vehículo;
- determinar, para cada valor de estimación de carga, una indicación actual de si puede suponerse que la carga actual del vehículo pertenece a la clase de peso respectiva; y
- seleccionar, entre todos los valores de estimación de carga, el valor de estimación de carga que tenga la mejor indicación actual como estimación de la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual y/o ponderar las indicaciones actuales para las clases de peso para obtener un valor de estimación de carga total para el banco de filtros, en el que el valor de estimación de carga total se usa como una estimación de carga para la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato para estimar la carga actual de un vehículo, comprendiendo el aparato:

- un banco de filtros que incluye al menos dos filtros, implementando cada filtro un modelo de vehículo para estimar la masa del vehículo y asociándose a una de al menos dos clases de peso;
- una entrada para suministrar, a cada filtro, al menos un dato del vehículo indicativo de una situación de conducción actual del vehículo, y al menos un parámetro de filtro actual específico para la clase de peso respectiva; en el que
- cada filtro está adaptado para determinar un valor de estimación de carga como estimación específica de filtro de la carga actual del vehículo;
- un medio de determinación que está adaptado para determinar, para cada valor de estimación de carga, una indicación actual de si puede suponerse que la carga actual del vehículo pertenece a la clase de peso respectiva; y
- un medio que está adaptado para seleccionar, entre todos los valores de estimación de carga, el valor de estimación de carga para el que se determina la mejor indicación actual como estimación de la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual y/o que está adaptado para ponderar las indicaciones actuales para las clases de peso para obtener un valor de estimación de carga total para el banco de filtros, en el que el valor de estimación de carga total se usa como estimación de carga para la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un producto de programa de ordenador que comprende un código de programa para realizar un método, cuando se ejecuta en un sistema de procesamiento, para estimar la carga actual de un vehículo, comprendiendo el método las etapas de:

- definir al menos dos clases de peso;
- proporcionar un banco de filtros que incluye, para cada una de las al menos dos clases de peso, un filtro, implementando cada filtro un modelo de vehículo para estimar la masa actual del vehículo;
- suministrar, a cada filtro, al menos un dato de vehículo indicativo de una situación de conducción actual del vehículo, y al menos un parámetro de filtro actual específico para la clase de peso respectiva;
- determinar, por medio de cada filtro, un valor de estimación de carga como estimación específica de filtro de la carga actual del vehículo;
- determinar, para cada valor de estimación de carga, una indicación actual de si puede suponerse que la carga actual del vehículo pertenece a la clase de peso respectiva; y
- seleccionar, entre todos los valores de estimación de carga, el valor de estimación de carga que tenga la mejor indicación actual como estimación de la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual y/o ponderar las indicaciones actuales para las clases de peso para obtener un valor de estimación de carga total para el banco de filtros, en el que el valor de estimación de carga total se usa como una estimación de carga para la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual.

Otros aspectos, características y ventajas de la presente invención resultarán evidentes a partir de la descripción siguiente, los dibujos adjuntos y las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirán las realizaciones de la invención, a modo de ejemplo y haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 ilustra una rueda deformada para la explicación de una posible aplicación de la presente invención;
- la figura 2 ilustra las fuerzas que actúan sobre un vehículo que se conduce en una pendiente;
- la figura 3 ilustra un tren motriz de un vehículo;
- la figura 4 ilustra un banco de filtros de acuerdo con la presente invención;
- la figura 5 muestra una gráfica que ilustra la distribución de residuales de un modelo para diferentes clases de peso de acuerdo con la presente invención;

la figura 6 muestra un diagrama que ilustra las posibilidades frente a cargas y masas estimadas del vehículo, respectivamente, para una realización preferida de la presente invención;

la figura 7 ilustra los resultados de la estimación de carga/masa con una realización preferida de la presente invención;

5 la figura 8 ilustra los resultados de las estimaciones de carga/masa de acuerdo con la presente invención en comparación con las respectivas masas de vehículo reales; y

la figura 9 muestra un diagrama de flujo de una realización preferida de la presente invención.

Descripción de las realizaciones preferidas

10 Sin embargo, antes de continuar con la descripción de los dibujos, se proporcionan algunas observaciones adicionales a aspectos adicionales de la presente invención. La observación más detallada de los aspectos relacionados con el método de la presente invención también se aplica al aparato y a los aspectos relacionados con el programa informático de la presente invención, incluso si no se indica explícitamente.

15 La presente invención se refiere a la estimación de la carga actual de un vehículo. Esto implícitamente también se refiere a una estimación del peso actual del vehículo (es decir, el peso del vehículo en “vacío” sin carga y, si está presente, el peso de la carga) ya que sobre la base del peso del vehículo en “vacío” puede obtenerse la carga mediante la presente invención y viceversa.

20 Las al menos dos clases de peso pueden indicar diferentes intervalos de carga, en las que estos intervalos pueden solaparse y pueden no solaparse. Estos intervalos pueden usarse por los respectivos filtros y los modelos de vehículo, respectivamente, para las estimaciones de carga específicas de filtro.

25 Las al menos dos clases de peso también pueden indicar diferentes intervalos de pesos de vehículo totales o totales, en las que estos intervalos pueden solaparse y pueden no solaparse. Estos intervalos pueden usarse por los respectivos filtros y los modelos de vehículo, respectivamente, para las estimaciones de carga específicas de filtro.

30 La etapa para determinar una indicación actual puede incluir determinar la información y/o los datos que representan al menos una de una probabilidad, una posibilidad, una covarianza y cualquier otro valor estadístico, intervalo o umbral sobre la base de que puede suponerse que la carga actual del vehículo pertenece o no a la clase de peso respectiva.

35 La etapa para determinar el valor de estimación de carga que tiene la mejor indicación actual puede incluir determinar al menos uno de entre el valor de estimación de carga que tiene la probabilidad más alta, el valor de estimación de carga que tiene la covarianza más pequeña y el valor de estimación de carga que tiene otro valor estadístico que indica que este valor de estimación de carga es una mejor estimación de la carga de vehículo actual en comparación con los valores de estimación de carga restantes.

40 Las etapas de suministrar, determinar el valor de estimación de carga, determinar la indicación actual y seleccionar pueden repetirse. Esto permitirá que las estimaciones de carga se repitan, por ejemplo, con el fin de obtener unas estimaciones de carga específicas para diferentes situaciones de conducción. También puede usarse una repetición para operar recursivamente los filtros con el fin de mejorar las estimaciones de filtro individuales y/o la estimación general del banco de filtros. Por ejemplo, la repetición de etapa puede realizarse en intervalos de tiempo predefinidos y/o cada vez que se deba estimar la masa real del vehículo.

50 Cada filtro puede comprender al menos uno de entre un filtro basado en un modelo, un filtro de Kalman, un filtro de Kalman extendido, un filtro de Kalman “unscented”, un filtro de Kalman extendido de restricción, un filtro de partículas, un filtro sigma-point, un filtro de masa puntual, un filtro basado en cuadrícula.

El modelo de vehículo puede incluir al menos uno de los siguientes parámetros:

- eficiencia de caja de cambios (η_{tm});
- par torsión de motor (T_e);
- 55 - constante de amortiguación de caja de cambios (ζ);
- velocidad angular de motor (ω_e);
- inercia del motor (J_e);
- velocidad angular de rueda (ω_w);
- aceleración angular de rueda ($\dot{\omega}_w$);
- 60 - una relación de transmisión (i_g);
- una relación de transmisión motriz final (i_{gr});
- inercia de rueda (J_w);
- densidad del aire (ρ);
- coeficiente de arrastre aerodinámico (C_d);
- 65 - área frontal aerodinámica del vehículo (A_f);

- velocidad del vehículo (v);
- un valor de estimación de carga determinado anteriormente (\hat{m}) a partir del filtro respectivo;
- una indicación determinada anteriormente de si puede suponerse que la carga actual del vehículo pertenece a la clase de peso respectiva del filtro respectivo;
- 5 - la constante de gravitación (g);
- coeficiente de resistencia de rodadura (C_r); y
- radio de la rueda (r).

10 La etapa para suministrar al menos uno de datos de vehículo indicativos de la situación de conducción actual puede incluir al menos una de

- una etapa para suministrar un valor de sensor de aceleración (y) que indica una aceleración de vehículo actual;
- una etapa para suministrar un valor de par torsión de motor (T_e) que indica un par torsión actual generado por el motor del vehículo;
- 15 - una etapa para suministrar al menos un valor de velocidad angular de rueda (ω_w) que indica una velocidad angular actual de al menos una rueda del vehículo; y
- una etapa para suministrar un valor de velocidad angular de motor (ω_e) que indica una velocidad angular actual del motor del vehículo; y
- una etapa para suministrar un valor de relación motriz final (i_{ra}) que indica una relación motriz final actual.

20 La etapa para suministrar al menos un parámetro de filtro actual específico para la clase de peso respectiva puede incluir una etapa para suministrar al menos uno de los siguientes parámetros de filtro:

- un valor de estimación de carga anterior del filtro respectivo;
- 25 - una media anterior del filtro respectivo;
- una covarianza anterior del filtro respectivo; y
- una probabilidad anterior del filtro respectivo.

30 Si procede, la covarianza puede incluir al menos una de entre una covarianza de un error de modelo del modelo de vehículo respectivo y una covarianza del ruido de medición asociada a al menos un dato de vehículo.

35 Además, si procede, la media anterior puede ser un medio inicial supuesto para el modelo de vehículo respectivo o es una media del modelo de vehículo respectivo resultante de una etapa realizada anteriormente para determinar un valor de estimación de carga; y/o la covarianza anterior es una covarianza inicial supuesta para el modelo de vehículo respectivo o es una covarianza del modelo de vehículo respectivo que resulta de una etapa realizada anteriormente para determinar un valor de estimación de carga; y/o la probabilidad anterior es una probabilidad inicial supuesta para el modelo de vehículo respectivo o una probabilidad del modelo de vehículo respectivo que resulta de una etapa realizada anteriormente para determinar una probabilidad actual.

40 Por ejemplo, en el caso de una media inicial respectiva puede usarse el valor de masa medio de la clase de peso. En el caso de una covarianza inicial, puede suponerse un bajo ruido de proceso.

45 La etapa para determinar una probabilidad actual de que la masa real del vehículo pertenece a la clase de peso respectiva incluye una etapa de usar el teorema de Bayes.

La etapa para determinar una probabilidad actual de que la masa real del vehículo pertenece a la categoría de peso respectivo puede incluir una etapa para calcular la probabilidad actual sobre la base de una posibilidad del valor de estimación de carga respectivo y una probabilidad calculada anteriormente de la clase de peso respectiva.

50 La posibilidad de que el valor de estimación de carga respectivo pueda determinarse sobre la base de la estimación de la aceleración del vehículo excitando el modelo de vehículo respectivo con al menos dos cargas diferentes del vehículo en el que se conoce la masa real del vehículo sin la carga.

55 La etapa para determinar un valor de estimación de carga puede incluir una etapa para determinar una función relacionada con el peso, para el modelo de vehículo respectivo, de un residual entre la carga actual del vehículo y un valor de estimación de carga obtenido a partir del modelo de vehículo respectivo que se excita con la carga actual del vehículo.

60 La etapa para determinar un valor de estimación de carga puede incluir una etapa para determinar, para cada modelo de vehículo, una incertidumbre para el valor de estimación de carga respectivo.

La incertidumbre puede determinarse por al menos uno de:

- un modo operativo de una caja de cambios del vehículo;
- 65 - una magnitud de aceleración; y

- una magnitud de par torsión de motor.

El modelo de vehículo puede incluir un modelo para la aceleración del vehículo y un modelo para un valor de aceleración de vehículo proporcionado por un medio de sensor del vehículo, indicando el valor de aceleración de vehículo una aceleración actual del vehículo.

El modelo para la aceleración del vehículo puede estar basado en la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{\eta_{tm}(T_{e_t} - \zeta \omega_{e_t}) \cdot i_t}{r} - \frac{\rho C_d A_f}{2} v_t^2 \right) / \hat{m}_t \gamma_m - g C_r / \gamma_m$$

10 en la que

η_{tm} es una eficiencia de caja de cambios;

T_e es un par torsión de motor actual;

ζ es la constante de amortiguación de caja de cambios;

15 ω_e es una velocidad angular de motor actual;

i_t es el producto de una relación de transmisión actual y una relación de transmisión motriz final actual;

ρ es una densidad de aire actual;

C_d es un coeficiente de arrastre aerodinámico;

20 A_f es el área frontal aerodinámica del vehículo;

v es la velocidad de vehículo actual;

\hat{m} es una carga de vehículo estimada anteriormente;

γ_m es un factor de masa para la aceleración del vehículo;

g es la constante gravitacional;

25 C_r es un coeficiente de resistencia de rodadura; y

r es un radio de rueda actual.

El modelo para el valor de la aceleración de vehículo puede basarse en la siguiente ecuación:

$$\dot{v} + g \sin \alpha / \gamma_m + g C_r \gamma_m$$

30 en la que

\dot{v} es la aceleración de vehículo;

g es la constante gravitacional;

α es un ángulo entre el eje de medición del medio de sensor y el campo de gravedad de la tierra;

35 C_r es un coeficiente de resistencia de rodadura; y

γ_m es un factor de masa para la aceleración del vehículo.

El modelo para la salida de un medio de sensor puede basarse en la siguiente ecuación:

$$y_{acc} + g C_r / \gamma_m$$

40 en la que

y_{acc} es una aceleración medida del vehículo;

g es la constante gravitacional;

45 C_r es un coeficiente de resistencia de rodadura; y

γ_m es un factor de masa para la aceleración del vehículo.

El factor de masa anterior γ_m puede representarse por:

$$1 + \frac{J_{dl}}{m} + \frac{J_e * i_t^2}{m}$$

50 en la que

m es la masa actual del vehículo;

J_{dl} es la inercia de línea motriz;

55 J_e es la inercia de motor;

i_t es el producto de una relación de transmisión actual y una relación de transmisión motriz final actual.

En el aparato de la presente invención, cada filtro puede comprender al menos uno de entre un filtro basado en un modelo, un filtro de Kalman, un filtro de Kalman extendido, un filtro de Kalman "unscented", un filtro de Kalman extendido de restricción, un filtro de partículas, un filtro sigma-point, un filtro de masa puntual, un filtro basado en cuadrícula.

La entrada para suministrar al menos un dato de vehículo puede comprender al menos una de

- 5 - una entrada para recibir un valor de sensor de aceleración (y) que indica una aceleración de vehículo actual proporcionada por un sensor de vehículo;
- una entrada para recibir un valor de par torsión de motor (T_e) que indica un par torsión actual generado por el motor del vehículo; y
- una entrada para recibir al menos un valor de velocidad angular de rueda (ω_w) que indica una velocidad angular actual de al menos una rueda del vehículo.
- 10 - una entrada para recibir un valor de velocidad angular de motor (ω_e) que indica una velocidad angular actual del motor del vehículo; y
- una entrada para recibir un valor de relación motriz final (i_{fd}) que indica una relación motriz final actual.

15 El producto de programa informático de la presente invención puede comprender un código de programa para realizar, cuando se ejecuta en un sistema de procesamiento, las etapas del método mencionado anteriormente.

El producto de programa informático de presente invención puede almacenarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador o almacenarse en un almacenamiento de un sistema de procesamiento.

20 Muchas de las decisiones de control y sistemas de diagnóstico de un vehículo pueden mejorarse si se conocen la masa o la carga del vehículo. Esto se aplica, por ejemplo, a las aplicaciones que implican una monitorización de presión de neumáticos indirecta. En la monitorización de presión de neumáticos indirecta, la reducción del radio de rodadura de los neumáticos es el principal indicador de que el neumático está desinflado. Sin embargo, esto puede ser (también) el resultado de la carga del vehículo. Por lo tanto, conocer o estimar la masa o carga del vehículo
25 puede usarse, por ejemplo, para determinar si un neumático se deforma por una presión insuficiente de los neumáticos y/o por la carga del vehículo.

30 Una condición de rueda como se ilustra en la figura 1 puede dar lugar a la suposición de que, sin saber el estado de carga del vehículo, la presión del neumático es baja. Si, por otro lado, hubiera sido posible ver que el vehículo está muy cargado, esto probablemente se consideraría como la causa de la deformación del neumático.

35 Cuando se estima la masa de un vehículo usando un modelo basado en la estimación de parámetros, se prefiere un modelo del sistema donde la masa es un parámetro importante. La masa puede afectar a muchas propiedades dinámicas de un vehículo. Por ejemplo, una carga grande en el maletero cambia el gradiente de subviraje del vehículo, debido al hecho de que el centro de gravedad se ha movido hacia atrás y debido a la mayor fuerza normal en los neumáticos lo que produce un deslizamiento lateral más pequeño.

40 Para la presente invención se prefiere usar relaciones de fuerza longitudinal que actúan sobre un vehículo. La dinámica longitudinal durante la aceleración de un vehículo puede expresarse sobre la base de la segunda ley de Newton. Además, la información sobre la dinámica longitudinal está en general disponible en forma de datos y/o señales de sensores de vehículos ya instalados por lo que no se necesita agregar hardware adicional.

45 Con el fin de lograr buenas estimaciones de la masa del vehículo y, si procede, sus modelos de carga (es decir, una desviación de peso de la masa del vehículo real) que describen las relaciones entre situaciones de conducción y la masa de vehículo, deberían ser lo más precisos posible y/o factibles (por ejemplo, desde un punto de vista computacional). En la descripción de las realizaciones preferidas, se usa un modelo de dinámica longitudinal. Las realizaciones preferidas más particulares descritas en este caso emplean dinámicas longitudinales de vehículo durante la aceleración.

50 Los modelos adecuados para este fin describen las relaciones físicas entre las señales de entrada y los valores medidos. Es decir, en un modelo de dinámica longitudinal, la relación entre, por un lado, el par torsión de motor como "señal de entrada" y, por otro lado, la velocidad y la aceleración del vehículo como "valores medidos".

55 Suponiendo que el vehículo es un cuerpo sólido, las fuerzas resultantes en una cierta aceleración pueden expresarse de acuerdo con la segunda ley de Newton de los cuerpos en movimiento

$$m\dot{v} = F_{net} \quad (1.)$$

60 Las fuerzas de tracción que aceleran un vehículo es el par torsión de motor que actúa a través de la transmisión y de las ruedas hacia abajo en la carretera, usando la fricción entre las ruedas y la carretera para proporcionar al vehículo una fuerza hacia adelante, así como, si el vehículo está bajando una colina, la componente longitudinal de la fuerza de la gravedad $m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$ donde α es el ángulo de la pendiente de la carretera que es negativo dando como resultado las fuerzas de aceleración.

Las fuerzas que desaceleran el vehículo incluyen la resistencia del aire, la resistencia a la rodadura y, si el vehículo está subiendo una colina la componente longitudinal de la fuerza de la gravedad $m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$ donde α es el ángulo de la pendiente de la carretera que es positivo dando como resultado fuerzas de desaceleración.

- 5 La figura 2 ilustra tales fuerzas de aceleración y desaceleración, en la que F indica las fuerzas de tracción, F_a indica de las fuerzas de desaceleración resultantes de la resistencia del aire (es decir, las fuerzas de resistencia del aire), F_r indica la resistencia a la rodadura, F_g indica las fuerzas resultantes de la fuerza de la gravedad que actúa sobre el vehículo y a indica la aceleración resultante del vehículo. El uso de la segunda ley de Newton produce:

$$10 \quad m\dot{v} = F - F_a - F_r - F_g \quad (1.)$$

En la figura 2, la aceleración que actúa sobre el vehículo está también dividida en la aceleración de la carrocería del vehículo en comparación con la carretera, \dot{v} y la componente de la gravedad de la tierra $g \cdot \sin \alpha$ que actúa en la dirección longitudinal del vehículo. Al conducir colina arriba a una velocidad constante, el vehículo está influenciado por el campo de gravedad de la tierra al igual que la aceleración en una carretera plana, con la diferencia de que las partes giratorias, las ruedas, la línea de transmisión y el motor no tienen una aceleración angular.

Una expresión para cada una de las fuerzas puede obtenerse sobre la base de las fuerzas de tracción F por el modelado de tren motriz del vehículo ilustrado en la figura 3 como se describe a continuación y también sobre la base de las fuerzas externas como se describe adicionalmente a continuación.

Para modelar el motor, puede tenerse en cuenta que el par torsión entregado por el motor sufre pérdidas en su camino a través de la transmisión hasta el suelo. Al acelerar, se utilizarán las fuerzas de los motores para acelerar el vehículo, en general durante una mayor parte, para acelerar la masa del vehículo. Sin embargo, las fuerzas del motor también se consumirán por las partes de las fuerzas de propagación del tren motriz hacia las ruedas; por ejemplo, la fuerza puede consumirse por la aceleración angular de las piezas giratorias como el motor, el eje de la hélice y las ruedas. Las inercias para tales partes se indican como J_e (inercia del motor), J_{ps} (inercia del eje de la hélice) y J_w (inercia de las ruedas). Al acelerar en una carretera plana, se pierde el par torsión debido a las aceleraciones angulares del motor $\dot{\omega}_e$ (aceleración angular de motor) y las ruedas $\dot{\omega}_e$ (aceleración angular de rueda). De acuerdo con la segunda ley de Newton para la aceleración rotacional, el par torsión T para acelerar una masa (cuerpo) que tiene una inercia J de tal manera que a la masa se proporciona una aceleración angular $\dot{\omega}$ es

$$25 \quad T = J\dot{\omega} \quad (1.)$$

35 Por lo tanto, el par torsión entregado desde el motor a la caja de cambios es

$$T_{gb} = T_e - J_e \dot{\omega}_e \quad (1.)$$

en la que T_{gb} indica el par torsión entregado a la caja de cambios, T_e indica el par torsión generado por el motor, J_e indica la inercia del motor y $\dot{\omega}_e$ indica la aceleración angular de motor.

El par torsión que actúa sobre el eje de la hélice es el par torsión de entrada T_{gb} para la caja de cambios multiplicado por la relación de transmisión. Sin embargo, también hay pérdidas en la caja de cambios debido, por ejemplo, a la fricción entre los dientes de engranaje y la fricción en los cojinetes y las juntas. Esto puede modelarse como una pérdida de eficiencia constante proporcional al par torsión de entrada T_{gb} . Además, también puede haber pérdidas viscosas en la caja de cambios y la transmisión motriz final. Estas varían normalmente con la velocidad de rotación de la caja de cambios, por lo que se modelan como una amortiguación viscosa, proporcional a la velocidad de rotación. Esto deja la salida de par torsión de la caja de cambios modelada con la relación de transmisión i_g , la eficiencia de la caja de cambios modelada como una eficiencia proporcional η_{tm} y como una amortiguación viscosa con un coeficiente de amortiguación ζ . Esto puede expresarse como

$$45 \quad T_{ds} = (\eta_{tm} T_{gb} - \zeta \omega_e) * i_g = (\eta_{tm} (T_e - J_e \dot{\omega}_e) - \zeta \omega_e) * i_g \quad (1.)$$

Teniendo en cuenta la inercia de la hélice y de los ejes motrices J_{ps} y la inercia de las ruedas J_w y que la salida del par torsión de las ruedas depende de la relación de transmisión motriz final i_{gf} , el par torsión de las ruedas T_w puede expresarse por:

$$55 \quad T_w = (\eta_{tm} (T_e - J_e \dot{\omega}_e) - \zeta \omega_e) * i_g - J_{ps} \dot{\omega}_{ps} * i_{gf} - J_w \dot{\omega}_w \quad (1.)$$

60 En la que $\dot{\omega}_{ps}$ indica la aceleración angular de la hélice y los ejes de transmisión y $\dot{\omega}_w$ indican la aceleración angular de las ruedas.

Suponiendo que la relación de transmisión motriz final i_{gf} es constante, la inercia total de la hélice y los ejes motrices y las ruedas puede expresarse por

$$J_{dl} * \dot{\omega}_w = J_{ps} * i_{gf} + J_w$$

5 mientras que el producto de la relación de transmisión motriz final i_{gf} y la relación de transmisión i_g puede indicarse comúnmente por i_t .

A continuación, la fuerza de tracción resultante F puede expresarse por el par torsión de las ruedas resultante T_w dividido por el radio de la rueda r .

10

$$F = \frac{T_w}{r} = \frac{(T_e - J_e \dot{\omega}_e) * i_t - J_{dl} \dot{\omega}_w}{r} \quad (1.7)$$

Se observa que para la expresión anterior de la fuerza de tracción F se supone sin deslizamiento longitudinal; esto es factible debido a que bajo condiciones de conducción normales, el deslizamiento es normalmente inferior al 2 %.

15

La resistencia aerodinámica F_a es proporcional a la velocidad al cuadrado v y puede expresarse como

$$F_a = \frac{A_f * C_d \rho}{2} * v^2 \quad (1.8)$$

20

en la que A_f indica el área frontal aerodinámica del vehículo, C_d indica el coeficiente de resistencia de rodadura y ρ indica la densidad del aire.

La resistencia a la rodadura C_d puede modelarse de diversas formas más o menos complejas. En este caso se supone que la fuerza de resistencia a la rodadura es proporcional a la fuerza normal con una constante proporcional C_r . La indicación del ángulo de la inclinación de la carretera α produce las siguientes expresiones:

25

$$F_r = C_r mg,$$

$$F_g = mg \text{ sen}(\alpha)$$

30

Resumiendo las ecuaciones (1.2), (1.7), (1.8) y (1.9) y reemplazando $\dot{\omega}_e$ con $\dot{\omega}_w * i_g i_{gf}$ produce la ecuación resultante:

$$\dot{v} + g \text{ Sen}(\alpha) + g C_r = \left(\frac{(\eta_{tm} T_e - \zeta \omega_e - J_e \dot{\omega}_w i_t) \cdot i_t - J_{dl} \dot{\omega}_w}{r} - \frac{\rho C_d A_f v^2}{2} \right) / m \quad (1.12)$$

35

Hay una posibilidad de reescribir $\dot{\omega}_e$ como $\dot{v} * i_g i_{gf} / r$ y $\dot{\omega}_w$ como \dot{v} / r y la expresión resultante se convierte en:

$$\dot{v} \left(1 + \frac{J_{dl}}{mr^2} + \frac{J_e \cdot i_t^2}{mr^2} \right) + g \text{ Sen} \alpha + g C_r = \left(\frac{(\eta_{tm} T_e - \zeta \omega_e) \cdot i_t}{r} - \frac{\rho C_d A_f v^2}{2} \right) / m \quad (1.13)$$

40

El factor $1 + \frac{J_{dl}}{m} + \frac{J_e * i_t^2}{m}$ se indica como γ_m y se llama factor de masa al acelerar. Una aproximación para los vehículos de pasajeros es $\gamma_m = 1.04 + 0.0025 * i_t^2$. El factor de masa depende de la masa, y al estimar la masa de un vehículo usando esto como un parámetro, se pierde la dependencia de la masa.

45

El término $g * \text{sen} \alpha$ se divide también con γ_m , lo que significa que la información de pendiente de carretera es necesaria para compensar esto. Este enfoque funciona bien en carreteras planas cuando la dependencia de la masa de γ_m y la pendiente de la carretera pueden descuidarse y si no puede suponerse un error de desviación en el acelerómetro, esto tiene la ventaja de que las velocidades de las ruedas no tienen que diferenciarse para obtener $\dot{\omega}_w$ y $\dot{\omega}_e$:

$$\dot{v} + g \operatorname{Sen}(\alpha) / \gamma_m + g C_r / \gamma_m = \left(\frac{(\eta_{tm} T_e - \zeta \omega_e) \cdot i_t}{r} - \frac{\rho C_d A_f v^2}{2} \right) / \gamma_m m \quad (1.14)$$

Los vehículos están equipados normalmente con unos medios de sensor que comprenden, entre otros, un acelerómetro longitudinal. El acelerómetro registra la aceleración/desaceleración real del vehículo así como la componente $g \cdot \operatorname{sen} \alpha$ del campo de gravedad cuando el sensor no es perpendicular al campo de gravedad de la tierra: o el vehículo va colina abajo o colina arriba y el sensor registra el componente de gravedad de la aceleración, o el vehículo se ve afectado por un par torsión de inclinación debido a la aceleración o a una carga en el maletero y la suspensión se comprime/se retrae, dando al vehículo un ángulo de inclinación. Los diferentes efectos se separan al nombrar el ángulo en el primer caso $\alpha_{pendiente}$ y el ángulo en el otro caso $\alpha_{inclinación}$. Además, se supone que el acelerómetro tiene un error de desviación indicado por b y un ruido de sensor $v(t)$. El modelo del acelerómetro longitudinal se convierte en

$$y = \dot{v} + g \operatorname{sen} \alpha_{pendiente} + g \operatorname{sen} \alpha_{inclinación} + b + v(t) \quad (1.15)$$

La ecuación puede ser reformularse sin calcular explícitamente la aceleración angular como:

$$i_g = \frac{\omega_e}{\omega_w i_{fd}} \quad (1.16)$$

Los modelos anteriores, al menos partes de los mismos, pueden usarse para implementar la presente invención. A continuación, se hará referencia a realizaciones que emplean una solución de múltiples modelos o bancos de filtros con diferentes modelos/filtros, cada uno adaptado para un cierto conjunto de parámetros (verdaderos) (por ejemplo, supuestos de masas diferentes). La probabilidad de cada filtro puede calcularse recursivamente a medida que llegan más observaciones, por ejemplo, señales de acelerómetro. La figura 4 ilustra esquemáticamente un banco de filtros de este tipo que incluye varios filtros que implementan cada uno un modelo de vehículo específico de filtro. Cada filtro y su modelo de vehículo, respectivamente, se actualizarán recursivamente para mejorar su estimación de carga y/o la estimación general proporcionada por el banco de filtros en su conjunto. Más específicamente, la figura 4 ilustra un banco de filtros a modo de ejemplo que tiene unos filtros Kalman extendidos EKF cada uno de los cuales emplea un valor de aceleración de sensor y como valor de medición como datos de vehículo indicativos de una situación de conducción actual y un medio de filtro determinado anteriormente x , una covarianza P y una probabilidad γ como parámetros de filtro. Cada uno de los filtros puede usarse recursivamente de manera independiente para producir una estimación puntual, o pueden interactuar y mezclarse entre sí.

Para calcular la probabilidad de la masa verdadera que pertenece a una clase de peso, en este caso como una realización a modo de ejemplo, se usa el teorema de Bayes. Dada una observación, el teorema de Bayes hace posible calcular la probabilidad de que un enunciado sea verdadero. Esto se hace conociendo la probabilidad de que esa observación sea verdadera cuando el enunciado es verdadero y se proporciona un conocimiento anterior de la probabilidad de los enunciados:

$$p(W | y) = \frac{p(y | W, I) \cdot p(W, I)}{p(y)} \quad (2.1)$$

En el caso de la estimación de masa, esto puede interpretarse como la probabilidad de que la verdadera masa pertenezca a la clase de peso probado. Puede calcularse a partir de la posibilidad de la observación actual para la clase de peso actual, y el conocimiento anterior, que es la probabilidad calculada de las clases de peso antes de esta muestra. El denominador es un factor de escalado para que las probabilidades sumen hasta uno

$$p(y) = p(W | y) + p(-W | y) \quad (2.2)$$

En este caso, después se calculan las probabilidades para todas las clases de peso los resultados se normalizan con la suma. Para este fin, se requieren las posibilidades para las observaciones. Un método podría ser calcular la aceleración estimada usando el modelo suponiendo que no hay carga. Esto podría hacerse para diferentes casos de prueba con diversas cargas donde se conoce el peso verdadero. A continuación, la distribución de los residuales respectivos podría interpretarse como la función de probabilidad para las observaciones en cada clase de peso.

Unas distribuciones a modo de ejemplo de un tipo tal se ilustran en la figura 5, donde los casos de prueba se han dividido en tres clases de peso y la distribución de los residuales del modelo se ha calculado usando la misma masa (sin carga) cuando se simula el modelo. Esto sesga las distribuciones a la izquierda para cargas mayores. La

distribución de los residuales proporciona la probabilidad de que surja un error de modelo específico en cada clase de peso cuando se supone que el peso es cero.

5 El enfoque anterior puede verse como si no hubiera diversos modelos, cada uno modelado un estado de sistema diferente que es probable que suceda. A continuación, debería determinarse cuál de ellos parece corresponder al verdadero sistema. Como se ve en la figura 5, la distribución total del error de modelo, cuando los pesos se discretizan en un número de clases de peso, puede aproximarse con la suma de varias distribuciones gaussianas más estrechas. Para estimar el peso actual, es posible pesar el residual de la medición contra las diferentes crestas gaussianas. Esto conduce al filtro de suma gaussiana

10

$$p(x|y) \approx \sum_{i=1}^N \alpha_i \mathcal{N}(x; \hat{x}^{(i)}, P^{(i)}) \tag{2.3}$$

En la que $y - \hat{y}$ es el residual del filtro y $\mathcal{N}(x, y - \hat{y}, S_i)$ es la densidad (normal) Gaussiana con la covarianza S_i .

15 En realizaciones preferidas, como filtro basado en el modelo, puede usarse un filtro de Kalman extendido (EKF). Dado un modelo de tiempo discreto no lineal, este tipo de filtro puede expresarse por:

$$\begin{aligned} x_{t+1} &= f(x_t, u_t) + \nu_t \\ y_t &= h(x_t, u_t) + e_t \end{aligned} \tag{2.4}$$

20 En la que Q y R son las matrices de covarianza del ruido de proceso y de medición, respectivamente. La linealización se realiza calculando los jacobianos de f y de h . Normalmente están dados por

$$F_t = \nabla_x f(x, u)|_{x_t=\hat{x}_{t|t-1}, u=u_t} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{bmatrix} \tag{2.5}$$

$$H_t = \nabla_x h(x, u)|_{x_t=\hat{x}_{t|t-1}, u=u_t} = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial h_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial h_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial h_m}{\partial x_n} \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

25

Actualización de medición

$$\begin{aligned} L_t &= P_{t|t-1} H_t^T, \\ S_t &= H_t L_t + R_t, \\ K_t &= L_t S_t^{-1}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= y_t - h(\hat{x}_{t|t-1}, u_t), \\ \hat{x}_{t|t} &= \hat{x}_{t|t-1} + K_t \cdot \epsilon_t, \end{aligned} \tag{2.6}$$

Actualización de tiempo

$$\begin{aligned} \hat{x}_{t+1|t} &= f(\hat{x}_{t|t}, u_t), \\ P_{t+1|t} &= F_t P_{t|t} F_t^T + Q_t \end{aligned}$$

donde P es la matriz de covarianza del error de estimación.

30 Además, de acuerdo con realizaciones preferidas, puede usarse un enfoque que puede compararse con un filtro de

Kalman extendido parametrizado por intervalo (RPEKF). Específicamente, se usa un filtro Kalman para cada clase de peso con el peso inicial establecido en el valor medio de esta clase de peso y con el ruido de proceso suponiéndose que es bajo. Cada filtro será lento e insensible a los errores de modelo repentinos, pero el algoritmo puede ser realmente rápido cuando se elige el filtro más cercano desde el principio. Otra ventaja es que los filtros pueden ser diferentes, optimizados para funcionar con un cierto criterio.

Cuando la carga se divide en n clases de peso, y un número n de filtros de Kalman extendidos se están ejecutando, la probabilidad para cada filtro de que sea el mejor se calcula basándose en la suposición de que el ruido de proceso es gaussiano. Una función de distribución gaussiana con media μ y desviación estándar σ es:

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.7)$$

cuando el modelo se simula con la masa verdadera, se supone que el error de modelo tiene una distribución gaussiana con una media $a = 0$. Eso significa que los residuales deberían tener una distribución gaussiana con una media $\mu = 0$, si la masa estimada es igual a la masa verdadera. La desviación estándar de la estimación predicha se describe mediante la matriz de covarianza P. Para obtener la desviación estándar de los residuales, se debe proyectar P en la sala de medición y se debe agregar la incertidumbre de medición, esto es exactamente lo que se describe en la matriz S en (2.6). Esto produce las funciones de posibilidad de los residuales para cada filtro en el banco de filtros

$$p^i(\epsilon_t^i | m \in w^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \det S_t^i}} e^{(-\frac{1}{2} \epsilon_t^{iT} S^{-1} \epsilon_t^i)} \quad (2.8)$$

Con el fin de calcular la posibilidad de la clase de peso, el teorema de Bayes produce:

$$p_t^i(m \in w^i | \epsilon) = \frac{p^i(\epsilon_t^i | m \in w^i) \cdot p_{t-1}^i(m \in w^i)}{\sum_{i=0}^n p_t^i(m \in w^i | \epsilon)} \quad (2.9)$$

Con el fin de obtener la estimación y la covarianza del filtro total, las probabilidades pueden ponderarse entre sí de acuerdo con:

$$\hat{x}_t = \sum_{i=0}^n p_t^i(m \in w^i) \hat{x}_t^i \quad (2.10)$$

$$P_t = \sum_{i=0}^n p_t^i(m \in w^i) (P_t^i + (\hat{x}_t^i - \hat{x}_t)(\hat{x}_t^i - \hat{x}_t)^T)$$

Esto puede obtenerse también de la figura 6, que ilustra el uso de un banco de filtro que tiene unos filtros asociados a diferentes clases de peso. La posibilidad resultante de que cada filtro sea verdadero se determina sobre la base de la suposición de que el ruido de medición se distribuye mediante gauss. A continuación, las posibilidades se ponderan entre sí para determinar la carga o la masa estimada del vehículo, respectivamente, y la covarianza de filtro total.

En otras realizaciones, podría usarse el filtro más probable como la estimación, lo que hará el filtro más rápido desde el principio, cuando todos los filtros son igualmente probables.

Otra ventaja cuando se trabaja con posibilidades es que la incertidumbre del modelo es fácil de pesar. Es posible hacer que el filtro mantenga una estimación más probable si se toma la muestra durante circunstancias que están a favor del modelo, que una muestra recopilada en un estado donde el modelo a menudo tiene errores de modelo. Tómese como ejemplo la incertidumbre en el modelo de caja de cambios. Cuando la caja de cambios entra en modo de bloqueo, el modelo es bastante bueno, pero la caja de cambios rara vez entra en modo de bloqueo en el tráfico de ciudad. Esto hace que sea difícil ejecutar el filtro solo cuando esto sucede, ya que se recopilarán muy pocas muestras, lo que deja la certeza estadística baja. Por otro lado, el filtro puede creer firmemente en una muestra si la caja de cambios entra en modo de bloqueo. Esto también puede ser muy sospechoso contra las muestras recopiladas cuando la entrada de par motor está aumentando fuertemente o el modelo tiene poca excitación.

Entonces en (2.8) es posible añadir la incertidumbre de modelo. Permitir la covarianza de ruido de medición R o la covarianza de error de modelo Q depende del estado de modelo. Si las covarianzas se hacen más grandes para los estados en los que el modelo es probable que sea incierto, S crecerá y la probabilidad será menor. Usando este

enfoque, se recopilarán muchas muestras y se dará una estimación, pero el filtro será bastante lento e incierto hasta que surja un estado favorable y el filtro se mueva rápidamente contra el filtro correcto. El estado de modelo se ha clasificado en tres niveles: precisión de modelo pobre, buena y mejor. Esto se hace permitiendo que los criterios como el estado de bloqueo de transmisión, las magnitudes de aceleración y la magnitud del par motor y la derivada clasifiquen la probabilidad de estado de modelo. Esta clasificación ha mejorado la robustez de los algoritmos y resuelve algunos de los problemas con la incertidumbre de modelo frente a la complejidad de modelo y el compromiso entre la incertidumbre de modelo y la incertidumbre estadística cuando se descartan muchas muestras.

Poner (1.12) sobre la forma de modelo estado-espacio discreta como en (2.4) produce:

$$\begin{aligned} \hat{m}_{t+1} &= \hat{m}_t \\ y_t &= \left(\frac{\eta_{tm}(T_{e,t} - \zeta\omega_{e,t}) \cdot i_t}{\tau} - \frac{\rho C_d A_f}{2} v_t^2 \right) / \hat{m}_t \gamma_m - g C_{r\gamma m} \end{aligned} \quad (2.11)$$

donde la medida es $y_t = \dot{v} + g * \text{sen } \alpha / \gamma_m + g C_{r\gamma m} \approx y_{ac} + g C_{r\gamma m}$ y los Jacobianos son

$$\begin{aligned} F_x &= 1, \\ H_x &= - \left(\frac{\eta_{tm}(T_{e,t} - \zeta\omega_{e,t}) \cdot i_t}{\tau} - \frac{\rho C_d A_f}{2} v_t^2 \right) / \cdot (\hat{m}^2 \gamma_m) \end{aligned} \quad (2.12)$$

La figura 7 ilustra los resultados de una estimación de la masa usando un algoritmo de banco de filtros. Puede verse cómo se eligen los diferentes filtros al inicio del algoritmo. Los resultados se han obtenido sobre la base de 5 filtros. Al principio, el filtro con la carga más alta tiene la posibilidad más alta, pero el algoritmo comienza a elegir los filtros con un peso más bajo como más posibles y el filtro baja a la clase de peso más baja de aproximadamente 2080 kg. A continuación, como la masa verdadera en este caso era un poco menor que la clase de peso más baja, el filtro se mueve lentamente hacia el valor verdadero. Sin embargo, el error de estimación no es más de 25 kg cuando se elige el filtro correcto. Después de un largo tiempo, todos los filtros se moverán hacia el valor real incluso aunque se muevan lentamente.

Los resultados de los casos de prueba que usan el banco de filtros EKF muestran cómo el algoritmo cumple todos los criterios anunciados en el comienzo de este capítulo. El algoritmo se mueve rápidamente contra el valor correcto, extremadamente rápido cuando se cumplen todos los criterios para la mejor clasificación de probabilidad de modelo. Además, es insensible a los errores de modelo repentinos ya que cada filtro EKF es muy lento y durante los errores de modelo grandes, todos los filtros tendrán baja probabilidad. El rendimiento del algoritmo se basa de alguna manera en cómo se conduce el automóvil durante el tiempo de convergencia del filtro. Si los estados de modelo más favorable se cumplen desde el principio, el filtro a menudo encuentra el filtro correcto inmediatamente. La medida de cómo de rápido se establece el algoritmo como el tiempo desde el inicio hasta que el filtro tiene entonces una variación más pequeña que un cierto valor.

$$\begin{aligned} Y &= (y(t_0) y(t_1) \dots y(t) \dots y(t_n)), \\ \tau &= \min_t \left(\max(\hat{Y}) - \min(\hat{Y}) < v \right) - t_0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

Si la variación v se establece para ser 50 kg, el algoritmo es, para la mayoría de los casos de prueba, lo suficientemente rápido para encontrar la masa dentro de 100 kg del valor correcto en un tiempo inferior a 5 minutos, es decir, un valor correcto en un tiempo inferior a 5 minutos. Esto también se ilustra en la figura 7, que muestra los resultados de 25 casos de prueba en condiciones de conducción normales que incluyen, por ejemplo, el tráfico en ciudad y la velocidad en carretera.

La figura 9 muestra un diagrama de flujo que ilustra una realización a modo de ejemplo del método y/o una operación a modo de ejemplo del aparato de la presente invención.

En la etapa (100), el método y/o el aparato se inicializan, en la que donde las probabilidades de filtro pueden inicializarse a partir de una situación dada anterior, junto con las estadísticas de primer y segundo orden para cada filtro.

En la etapa (101), las mediciones y la información de filtro se usan para calcular las señales físicas, tales como la relación de transmisión, la velocidad del vehículo, etc.

En la etapa (102), se determina si la estimación(es) de carga debería actualizarse o no. Por ejemplo, la actualización puede realizarse si la situación de conducción actual y/o la condición del vehículo permite una estimación de carga confiable. Por ejemplo, no se puede realizar ninguna actualización si puede suponerse que la aceleración del vehículo, el par torsión de motor, la velocidad, la velocidad de guiñada y/o la aceleración lateral y/o las operaciones de frenado y/o cambio de marchas dan como resultado una estimación de carga subóptima o no confiable.

5 En la etapa (103), los filtros (es decir, el banco de filtros) se usan para proporcionar sus estimaciones de carga que utilizan la información del vehículo (por ejemplo, información de sensores de aceleración, velocidad de la rueda/información de aceleración, información de velocidad, información de par torsión de motor, información de transmisión (relación) e información específica de filtro (por ejemplo, probabilidad y/o covarianza). Además, en la etapa (103), los filtros (es decir, el banco de filtros) pueden actualizarse, por ejemplo, operándose de manera recursiva.

10 En la etapa (104), el flujo de proceso puede reiniciarse. Puede realizarse un reinicio, por ejemplo, si se abre una puerta del vehículo y/o en el caso de parada del vehículo y/o en cualquier situación en la que sea posible un cambio de carga.

REIVINDICACIONES

1. Un método para estimar la carga actual de un vehículo, **caracterizado por que** el método comprende las etapas de:

- 5 - definir al menos dos clases de peso;
- proporcionar un banco de filtros que incluye, para cada una de las al menos dos clases de peso, un filtro, implementando cada filtro un modelo de vehículo para estimar la carga actual del vehículo;
- 10 - suministrar, a cada filtro, al menos un dato de vehículo indicativo de una situación de conducción actual del vehículo, y al menos un parámetro de filtro actual específico para la clase de peso respectiva;
- determinar, por medio de cada filtro, un valor de estimación de carga como estimación específica de filtro de la carga actual del vehículo;
- determinar, para cada valor de estimación de carga, una indicación actual de si puede suponerse que la carga actual del vehículo pertenece a la clase de peso respectiva; y
- 15 - seleccionar, entre todos los valores de estimación de carga, el valor de estimación de carga que tenga la mejor indicación actual como estimación de la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual y/o ponderar las indicaciones actuales para las clases de peso para obtener un valor de estimación de carga total para el banco de filtros, en el que el valor de estimación de carga total se usa como una estimación de carga para la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual.

2. El método de la reivindicación 1, en el que se repiten las etapas de

- suministrar, a cada filtro, al menos un dato de vehículo, y al menos un parámetro de filtro actual;
- determinar, por medio de cada filtro, un valor de estimación de carga;
- 25 - determinar, para cada valor de estimación de carga, una indicación actual; y
- seleccionar, entre todos los valores de estimación de carga, la estimación de carga para la que se determina la mejor indicación actual.

3. El método de la reivindicación 2, en el que la repetición de etapas se realiza en intervalos de tiempo predefinidos y/o cada vez que deba estimarse la masa real del vehículo.

4. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en el que cada filtro comprende al menos uno de entre un filtro basado en un modelo, un filtro de Kalman, un filtro de Kalman extendido, un filtro de Kalman "unscented", un filtro de Kalman extendido de restricción, un filtro de partículas, un filtro sigma-point, un filtro de masa puntual, un filtro basado en cuadrícula.

5. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en el que el modelo de vehículo incluye al menos uno de los siguientes parámetros:

- 40 - eficiencia de caja de cambios (η_{tm});
- par torsión de motor (T_e);
- constante de amortiguación de caja de cambios (ζ);
- velocidad angular de motor (ω_e);
- inercia de motor (J_e);
- 45 - velocidad angular de rueda (ω_w);
- aceleración angular de rueda ($\dot{\omega}_w$);
- una relación de transmisión (i_g);
- una relación de transmisión motriz final (i_{gr});
- inercia de rueda (J_w);
- 50 - densidad de aire (ρ);
- coeficiente de arrastre aerodinámico (C_d);
- área frontal aerodinámica del vehículo (A_f);
- velocidad de vehículo (v);
- un valor de estimación de carga determinado anteriormente (\hat{m}) a partir del filtro respectivo;
- 55 - una indicación determinada anteriormente de si puede suponerse que la carga actual del vehículo pertenece a la clase de peso respectiva del filtro respectivo;
- constante de gravitación (g);
- coeficiente de resistencia de rodadura (C_r); y
- radio de rueda (r).

6. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de suministrar al menos un dato de vehículo indicativo de la situación de conducción actual incluye al menos una de

- 65 - una etapa para suministrar un valor de sensor de aceleración (y) que indica una aceleración de vehículo actual;
- una etapa para suministrar un valor de par torsión de motor (T_e) que indica un par torsión actual generado por el

motor del vehículo;

- una etapa para suministrar al menos un valor de velocidad angular de rueda (ω_w) que indica una velocidad angular actual de al menos una rueda del vehículo; y

5 - una etapa para suministrar un valor de velocidad angular de motor (ω_e) que indica una velocidad angular actual del motor del vehículo; y

- una etapa para suministrar un valor de relación motriz final (i_{fd}) que indica una relación motriz final actual.

7. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de suministrar al menos un parámetro de filtro actual específico para la clase de peso respectiva incluye una etapa de suministrar al menos uno de los
10 siguientes parámetros de filtro:

- un valor de estimación de carga anterior del filtro respectivo;

- una media anterior del filtro respectivo;

- una covarianza anterior del filtro respectivo; y

15 - una probabilidad anterior del filtro respectivo.

8. El método de la reivindicación 7, en el que la covarianza anterior incluye al menos una de entre una covarianza de un error de modelo del modelo de vehículo respectivo y una covarianza del ruido de medición asociada a al menos un dato de vehículo.

20 9. El método de la reivindicación 7 u 8, en el que

- la media anterior es una media inicial supuesta para el modelo de vehículo respectivo o es una media del modelo de vehículo respectivo que resulta de una etapa realizada anteriormente para determinar un valor de
25 estimación de carga; y/o

- la covarianza anterior es una covarianza inicial supuesta para el modelo de vehículo respectivo o es una covarianza del modelo de vehículo respectivo que resulta de una etapa realizada anteriormente para determinar un valor de estimación de carga; y/o

30 - la probabilidad anterior es una probabilidad inicial supuesta para el modelo de vehículo respectivo o una probabilidad del modelo de vehículo respectivo que resulta de una etapa realizada anteriormente para determinar una probabilidad actual.

10. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa para determinar la probabilidad actual de que la masa real del vehículo pertenezca a la clase de peso respectiva incluye una etapa de usar el teorema de Bayes.

35 11. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa para determinar la probabilidad actual de que la masa real del vehículo pertenezca a la clase de peso respectiva incluye una etapa para calcular la probabilidad actual sobre la base de una posibilidad del valor de estimación de carga respectivo y una probabilidad calculada anteriormente de la clase de peso respectiva.

40 12. El método de la reivindicación 11, en el que la posibilidad de que el valor de estimación de carga respectivo pueda determinarse sobre la base de la estimación de la aceleración del vehículo excitando el modelo de vehículo respectivo con al menos dos cargas diferentes del vehículo en el que se conoce la masa real del vehículo sin la carga.

45 13. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa para determinar un valor de estimación de carga incluye una etapa para determinar una función relacionada con el peso, para el modelo de vehículo respectivo, de un residual entre la carga actual del vehículo y un valor de estimación de carga obtenido a partir del modelo de vehículo respectivo que se excita con la carga actual del vehículo.

50 14. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa para determinar un valor de estimación de carga incluye una etapa para determinar, para cada modelo de vehículo, una incertidumbre para el valor de estimación de carga respectivo.

55 15. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en el que la incertidumbre está determinada por al menos uno de:

- un modo operativo de una caja de cambios del vehículo;

60 - una magnitud de aceleración; y

- una magnitud de par torsión de motor.

65 16. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en el que el modelo de vehículo incluye un modelo para la aceleración del vehículo y un modelo para un valor de aceleración de vehículo proporcionado por un medio de sensor del vehículo, indicando el valor de aceleración de vehículo una aceleración actual del vehículo.

17. El método de la reivindicación 16, en el que el modelo para la aceleración del vehículo se basa en la siguiente ecuación:

$$y_t = \left(\frac{\eta_{tm}(T_{et} - \zeta\omega_{et}) \cdot i_t}{r} - \frac{\rho C_d A_f v_t^2}{2} \right) / \hat{m}_t \gamma_m - g C_r / \gamma_m$$

5 en la que

y_t es una medida

η_{tm} es la eficiencia de caja de cambios;

T_e es el par torsión de motor actual;

10 ζ es la constante de amortiguación de caja de cambios;

ω_e es la velocidad angular de motor actual;

i_t es el producto de una relación de transmisión actual y una relación de transmisión motriz final actual;

ρ es la densidad de aire actual:

15 C_d es el coeficiente de arrastre aerodinámico;

A_f es el área frontal aerodinámica del vehículo;

v es la velocidad de vehículo actual;

\hat{m} es la carga de vehículo estimada anteriormente;

γ_m es el factor de masa para la aceleración del vehículo;

20 g es la constante gravitacional;

C_r es el coeficiente de resistencia de rodadura; y

r es el radio de rueda actual.

18. El método de la reivindicación 16 o 17, en el que el modelo para el valor de aceleración de vehículo se basa en la siguiente ecuación:

$$y_t = \dot{v} + g \sin \alpha / \gamma_m + g C_r \gamma_m$$

en la que

30 y_t es una medida

\dot{v} es la aceleración de vehículo;

g es la constante gravitacional;

α es un ángulo entre el eje de medición del medio de sensor y el campo de gravedad de la tierra;

C_r es un coeficiente de resistencia de rodadura; y

35 γ_m es un factor de masa para la aceleración del vehículo.

19. El método de la reivindicación 16 o 17, en el que el modelo para la salida de un medio de sensor se basa en la siguiente ecuación:

$$y_t = y_{acc} + g C_r \gamma_m$$

40 en la que

y_t es una medida

y_{acc} es la aceleración medida del vehículo;

45 g es la constante gravitacional;

C_r es el coeficiente de resistencia de rodadura; y

γ_m es el factor de masa para la aceleración del vehículo.

20. El método de una de las reivindicaciones 16 a 19, en el que el factor de masa γ_m se representa por:

50

$$\gamma_m = 1 + \frac{J_{dl}}{m} + \frac{J_e * i_t^2}{m}$$

en la que

m es la masa actual del vehículo;

55 J_{dl} es la inercia de línea motriz;

J_e es la inercia de motor;

i_t es el producto de una relación de transmisión actual y una relación de transmisión motriz final actual.

21. Un aparato para la estimación de la carga actual de un vehículo, **caracterizado por**:

- un banco de filtros que incluye al menos dos filtros, implementando cada filtro un modelo de vehículo para estimar la masa del vehículo y asociándose a una de al menos dos clases de peso;
- una entrada para suministrar, a cada filtro, al menos un dato del vehículo indicativo de una situación de conducción actual del vehículo, y al menos un parámetro de filtro actual específico para la clase de peso respectiva; en el que
- cada filtro está adaptado para determinar un valor de estimación de carga como estimación específica de filtro de la carga actual del vehículo;
- un medio de determinación que está adaptado para determinar, para cada valor de estimación de carga, una indicación actual de si puede suponerse que la carga actual del vehículo pertenece a la clase de peso respectiva; y
- un medio que está adaptado para seleccionar, entre todos los valores de estimación de carga, el valor de estimación de carga para el que se determina la mejor indicación actual como estimación de la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual y/o que está adaptado para ponderar las indicaciones actuales para las clases de peso para obtener un valor de estimación de carga total para el banco de filtros, en el que el valor de estimación de carga total se usa como estimación de carga para la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual.

22. El aparato de la reivindicación 21, en el que cada filtro comprende al menos uno de entre un filtro basado en un modelo, un filtro de Kalman, un filtro de Kalman extendido, un filtro de Kalman "unscented", un filtro de Kalman extendido de restricción, un filtro de partículas, un filtro sigma-point, un filtro de masa puntual, un filtro basado en cuadrícula.

23. El aparato de la reivindicación 21 o 22, en el que la entrada para suministrar al menos un dato de vehículo comprende al menos una de

- una entrada para recibir un valor de sensor de aceleración (y) que indica una aceleración de vehículo actual proporcionada por un sensor de vehículo;
- una entrada para recibir un valor de par torsión de motor (T_e) que indica un par torsión actual generado por el motor del vehículo; y
- una entrada para recibir al menos un valor de velocidad angular de rueda (ω_w) que indica una velocidad angular actual de al menos una rueda del vehículo.
- una entrada para recibir un valor de velocidad angular de motor (ω_e) que indica una velocidad angular actual del motor del vehículo; y
- una entrada para recibir un valor de relación motriz final (i_{tr}) que indica una relación motriz final actual.

24. Un producto de programa informático que comprende un código de programa para realizar un método, cuando se ejecuta en un sistema de procesamiento, para estimar la carga actual de un vehículo, **caracterizado por** el método que comprende las etapas de:

- definir al menos dos clases de peso;
- proporcionar un banco de filtros que incluye, para cada una de las al menos dos clases de peso, un filtro, implementando cada filtro un modelo de vehículo para estimar la carga actual del vehículo;
- suministrar, a cada filtro, al menos un dato de vehículo indicativo de una situación de conducción actual del vehículo, y al menos un parámetro de filtro actual específico para la clase de peso respectiva;
- determinar, por medio de cada filtro, un valor de estimación de carga como una estimación específica de filtro de la carga actual del vehículo;
- determinar, para cada valor de estimación de carga, una indicación actual de si puede suponerse que la carga actual del vehículo pertenece a la clase de peso respectiva; y
- seleccionar, entre todos los valores de estimación de carga, el valor de estimación de carga que tenga la mejor indicación actual como una estimación de la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual y/o ponderar las indicaciones actuales para las clases de peso para obtener un valor de estimación de carga total para el banco de filtros, en el que el valor de estimación de carga total se usa como una estimación de carga para la carga actual del vehículo para la situación de conducción actual.

25. El producto de programa informático de la reivindicación 24, que comprende un código de programa para realizar, cuando se ejecuta en un sistema de procesamiento, las etapas definidas en al menos una de las reivindicaciones 2 a 20.

26. El producto de programa informático de la reivindicación 24 o 25 que se almacena en un medio de almacenamiento legible por ordenador o que se almacena en un almacenamiento de un sistema de procesamiento.

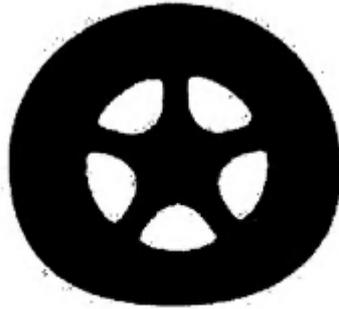


Fig. 1

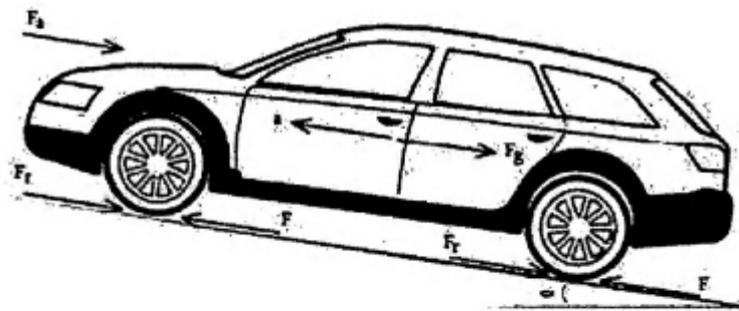


Fig. 2

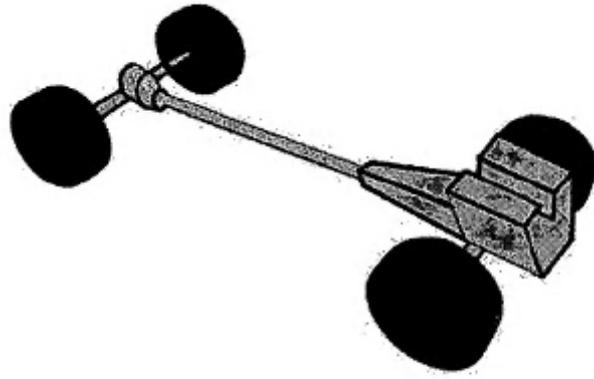


Fig. 3

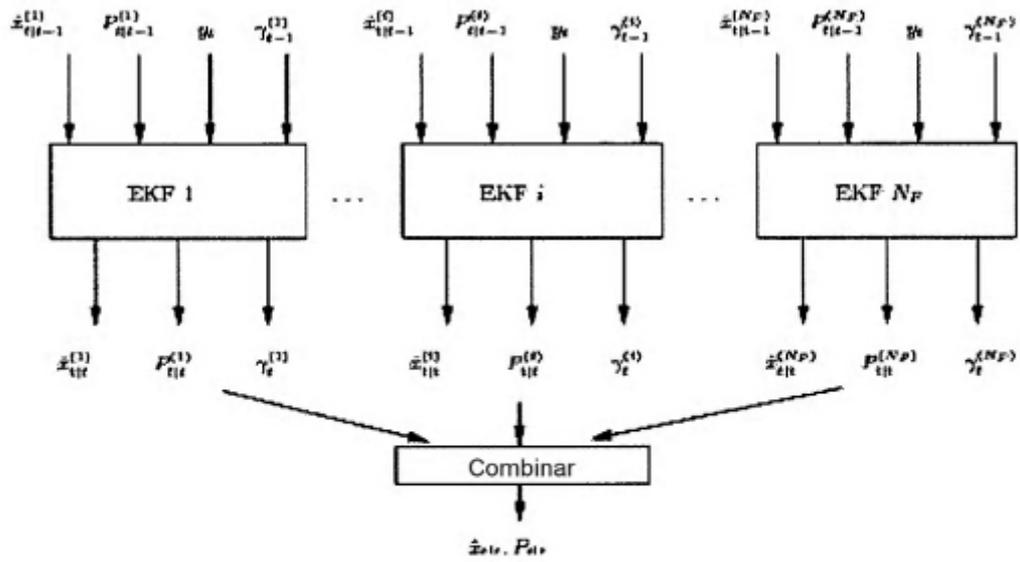


Fig. 4

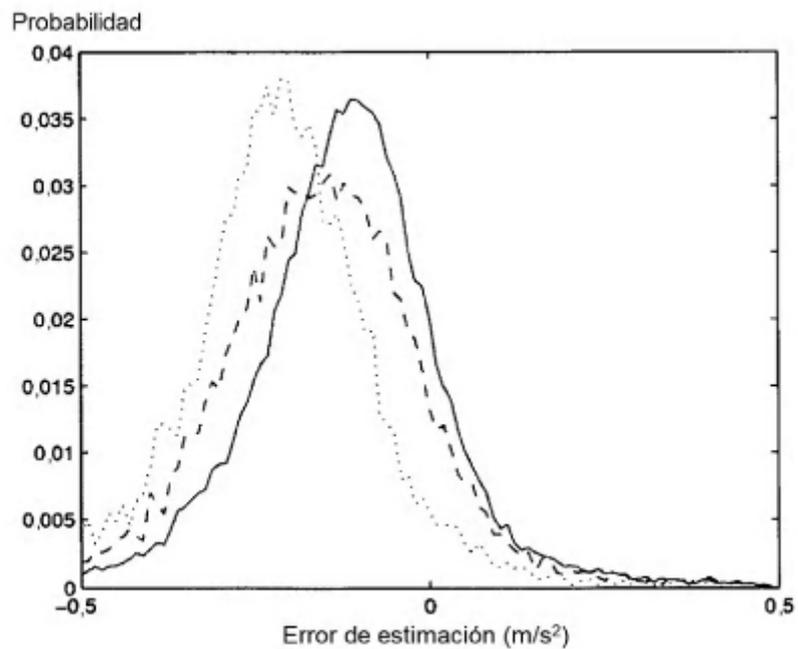


Fig. 5

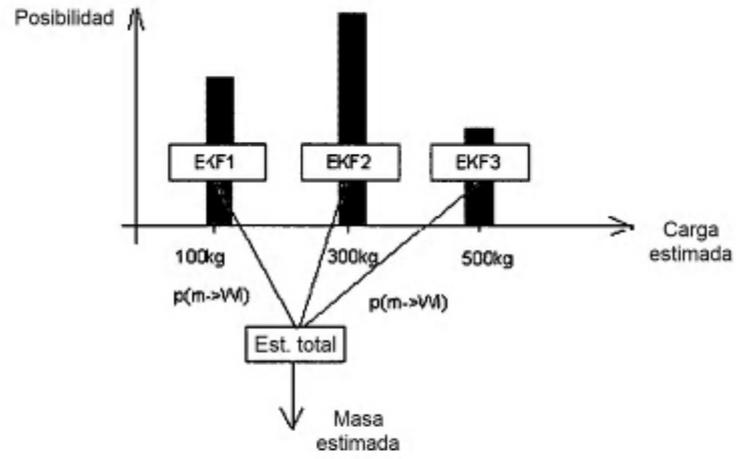


Fig. 6

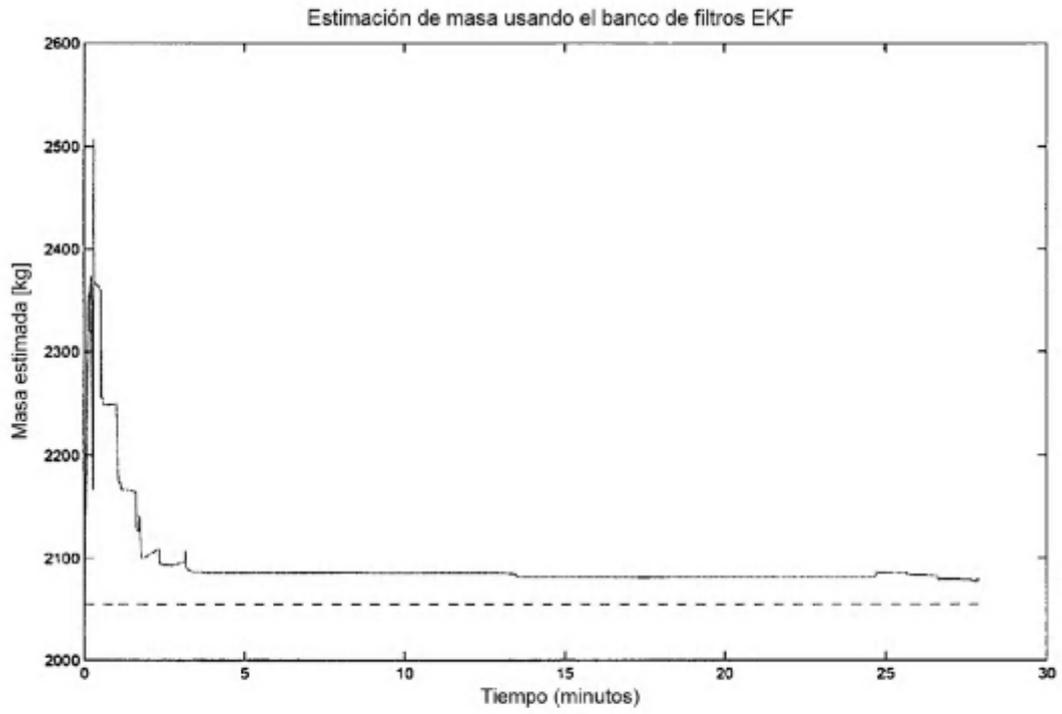


Fig. 7

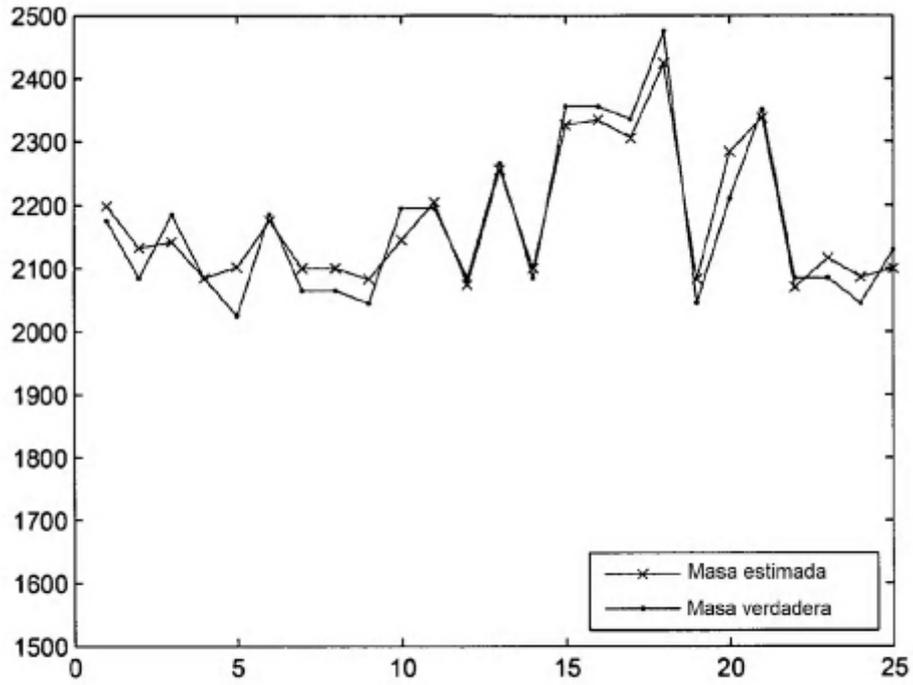


Fig. 8

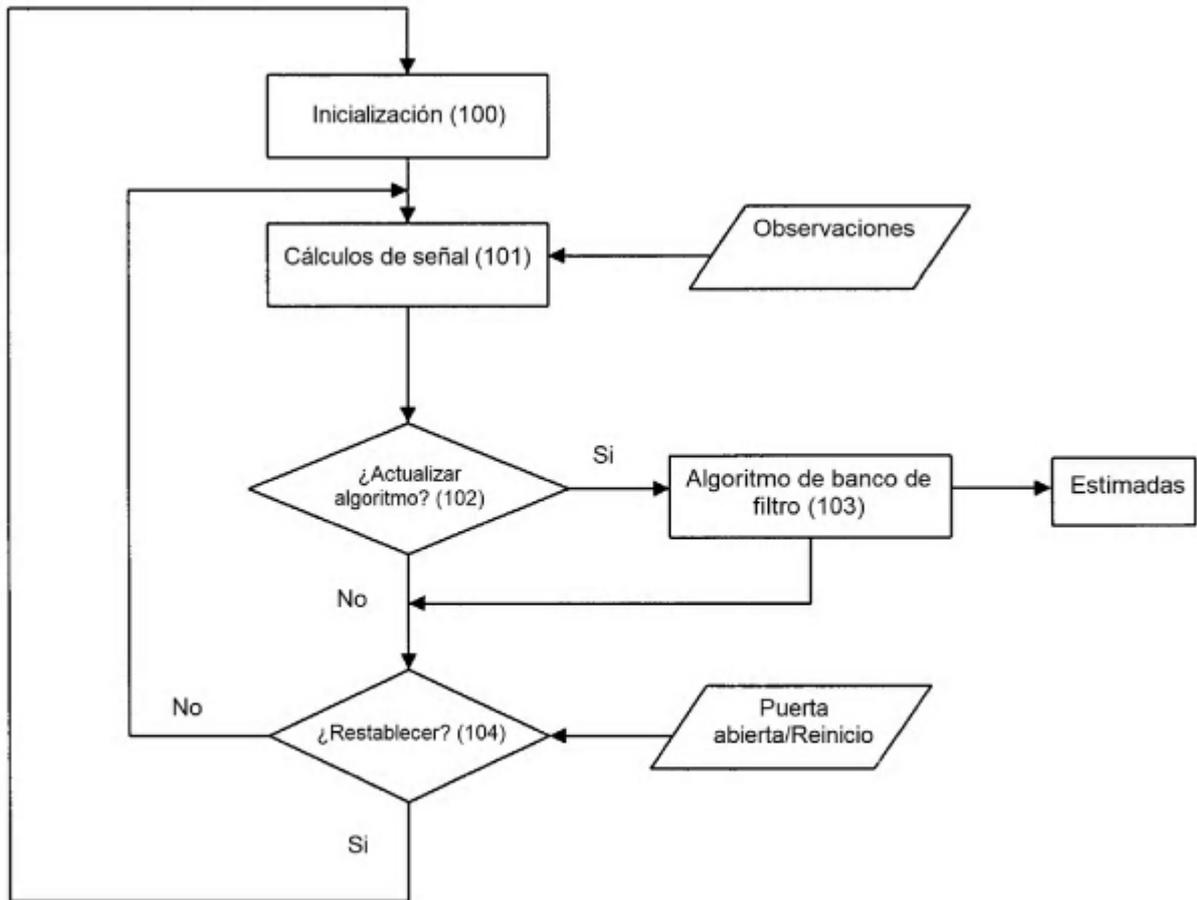


Fig. 9