



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 303 043**

51 Int. Cl.:  
**B60T 8/17** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04700998 .0**

86 Fecha de presentación : **09.01.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1701871**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **20.09.2006**

54

Título: **Estimación de las condiciones de la carretera bajo un vehículo.**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.08.2008**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.08.2008**

73

Titular/es: **Nira Dynamics AB.**  
**Teknikringen 1F**  
**583 30 Linköping, SE**

72

Inventor/es: **Lindskog, Peter;**  
**Sjöstrand, Niclas y**  
**Drevö, Markus**

74

Agente: **Arias Sanz, Juan**

ES 2 303 043 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 las condiciones de la carretera bajo un vehículo.

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general a la estimación de las condiciones de la carretera bajo un vehículo y, por ejemplo, a sistemas, procedimientos y productos de programas informáticos para estimar las condiciones de la carretera bajo un vehículo.

**10 Antecedentes de la invención**

Los coches modernos comprenden sistemas de control electrónico como sistemas antibloqueo de frenos (ABS), sistemas de estabilidad dinámica, sistemas antideslizamiento y sistemas de control de tracción. Además de estos sistemas de control activo también existen sistemas de información de seguridad del conductor como indicadores de fricción de carretera y sistemas de monitorización de presión de neumáticos sin sensores que presentan al conductor información acerca de las condiciones de marcha.

Todos los sistemas anteriormente mencionados se benefician del conocimiento acerca de las condiciones de la superficie de la carretera bajo el vehículo. En la técnica anterior se usan varias técnicas diferentes para determinar las condiciones de la superficie de la carretera bajo un vehículo en marcha. Una de tales técnicas está basada en acelerómetros verticales en un sistema de suspensión de un coche. Otra técnica está basada en medidores de nivel en el depósito de combustible del coche. Otras técnicas usan sensores especiales de flujo másico de aire en la unidad de control del motor.

La presente invención se refiere a técnicas para estimar las condiciones de la carretera que hacen uso de señales obtenidas de sensores de velocidad de las ruedas, por ejemplo los sensores de velocidad de las ruedas de sistemas antibloqueo de frenos estándar. Usar las señales procedentes de sensores de velocidad de las ruedas de sistemas ABS (y/o procedentes del bus CAN interno del vehículo) proporciona una forma económica de mediciones de las condiciones de la superficie de la carretera ya que estos sistemas ABS pertenecen al equipamiento estándar de la mayoría de los coches y camiones vendidos actualmente.

Tal sistema que está basado en las señales de sensores de velocidad de las ruedas se desvela, por ejemplo, en la patente de EE.UU. 5.566.090, que está dirigida a un procedimiento para detectar tramos de mala carretera directamente a partir de los datos sin procesar proporcionados por un sensor ABS. El procedimiento usa el hecho de que los tramos de mala carretera tienen como resultado fuertes fluctuaciones de las velocidades de las ruedas del coche. Las fuertes fluctuaciones de la velocidad de las ruedas tienen como resultado a su vez grandes diferencias entre tiempos de segmentos sucesivos, donde el tiempo de segmento es el tiempo que la rueda necesita para pasar por segmentos de ángulos asociados. El procedimiento desvelado determina un tramo de mala carretera si la diferencia entre tiempos de segmentos sucesivos es mayor que un valor límite preestablecido. Este sencillo algoritmo de decisión opera directamente sobre las señales sin procesar del sensor de velocidad de rueda. El documento US4.837.727 desvela un procedimiento que está basado en un algoritmo de decisión similar.

El documento EP0795448A2 desvela un sistema de detección de condiciones de la superficie de la carretera que comprende un sensor de velocidad de rueda para detectar una velocidad de rueda de al menos una rueda para generar una señal de velocidad de las ruedas y una unidad de control que integra la señal de velocidad de las ruedas durante un periodo de tiempo predeterminado. La unidad de control determina unas condiciones de superficie de carretera desigual cuando la señal integrada está por encima de un valor umbral predeterminado y, si no, unas condiciones de superficie de carretera normal. Antes de la integración, la señal de velocidad de las ruedas se filtra con un filtro de paso de banda en el intervalo de frecuencia de 10-15 Hz.

El documento US5719565 desvela un sistema y un procedimiento para estimar unas condiciones de la superficie de la carretera que además comprende una corrección de señal de velocidad de las ruedas.

**55 Resumen de la invención**

Un primer aspecto de la invención está dirigido a un sistema para estimar las condiciones del terreno bajo un vehículo en marcha. El sistema comprende un sensor de velocidad de rueda para detectar una señal de velocidad de rueda que es indicativa de la velocidad de la rueda de una rueda del vehículo que marcha sobre el terreno y una primera unidad analizadora acoplada a dicho sensor de velocidad de rueda. La primera unidad analizadora comprende una sección de estimación de imperfección del sensor que está diseñada para estimar una señal de imperfección del sensor a partir de la señal de velocidad de rueda que es indicativa de la imperfección del sensor del sensor de velocidad de rueda, una sección de corrección de señal que está diseñada para determinar una señal del sensor con imperfección corregida a partir de la señal de velocidad de rueda y la señal de imperfección del sensor, y una sección de estimación de condiciones del terreno que está diseñada para estimar un primer valor de estimación indicativo de las condiciones del terreno a partir de la señal del sensor con imperfección corregida.

## ES 2 303 043 T3

Otro aspecto de la invención está dirigido a un procedimiento para estimar las condiciones del terreno bajo un vehículo en marcha, que comprende las etapas de:

- 5 - detectar una señal de velocidad de rueda por medio de un sensor de velocidad de rueda que es indicativa de la velocidad de la rueda de una rueda del vehículo que marcha sobre el terreno; y
- estimar una señal de imperfección del sensor a partir de la señal de velocidad de rueda que es indicativa de la imperfección del sensor del sensor de velocidad de rueda;
- 10 - determinar una señal del sensor con imperfección corregida a partir de la señal de velocidad de rueda y la señal de imperfección del sensor; y
- estimar un primer valor de estimación indicativo de las condiciones del terreno a partir de la señal del sensor con imperfección corregida.

15

Un aspecto adicional de la invención está dirigido a un programa informático que incluye código de programa para llevar a cabo un procedimiento, cuando se ejecuta en un sistema de procesamiento, de estimación de las condiciones del terreno bajo un vehículo en marcha, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

20

- detectar una señal de velocidad de rueda por medio de un sensor de velocidad de rueda que es indicativa de la velocidad de la rueda de una rueda del vehículo que marcha sobre el terreno; y
- estimar una señal de imperfección del sensor a partir de la señal de velocidad de rueda que es indicativa de la imperfección del sensor del sensor de velocidad de rueda;
- 25 - determinar una señal del sensor con imperfección corregida a partir de la señal de velocidad de rueda y la señal de imperfección del sensor; y
- 30 - estimar un primer valor de estimación indicativo de las condiciones del terreno a partir de la señal del sensor con imperfección corregida.

Otras características son inherentes a los procedimientos y sistemas desvelados o resultarán evidentes para los expertos en la materia a partir de la siguiente descripción detallada de realizaciones y sus dibujos adjuntos.

35

### Descripción de los dibujos

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

la Fig. 1 muestra un coche que tiene cuatro ruedas y que marcha sobre una carretera que cambia de dirección de conducción de unas condiciones de superficie normal a unas condiciones de carretera desigual;

45

la Fig. 2 muestra esquemáticamente un sensor de velocidad de rueda compuesto de un elemento rotatorio segmentado y un elemento sensor;

la Fig. 3 muestra un diagrama ejemplar de señales de velocidad de cuatro ruedas obtenidas de las cuatro ruedas de un vehículo en marcha como función del tiempo;

50

la Fig. 4 muestra un diagrama que representa una señal de velocidad de rueda como función del número de muestra;

la Fig. 5 muestra un diagrama de bloques de una realización del sistema para estimar las condiciones de la carretera bajo el vehículo, comprendiendo la realización un sensor de velocidad de rueda y una unidad analizadora;

55

la Fig. 6 muestra un diagrama de bloques de una realización de la sección de estimación de condiciones del terreno que es parte del sistema de la Fig. 5;

la Fig. 7 muestra un diagrama de bloques de una realización adicional de la sección de estimación de condiciones del terreno que es parte del sistema de la Fig. 5;

60

la Fig. 8 muestra un diagrama de bloques de una realización de la sección de estimación de varianza que es parte de las secciones de estimación de condiciones del terreno de la Fig. 6 y la Fig. 7;

65

la Fig. 9 muestra un diagrama de bloques de una realización del sistema para estimar las condiciones de la carretera bajo un vehículo que está basado en las señales de cuatro sensores de velocidad de rueda diferentes;

## ES 2 303 043 T3

la Fig. 10 muestra un diagrama de bloques de una realización de una unidad de decisión del sistema para estimar las condiciones de la carretera;

5 la Fig. 11 muestra un diagrama de bloques de una realización del sistema con dos tipos diferentes de unidades analizadoras;

la Fig. 12 muestra un diagrama de bloques de una realización del segundo tipo de unidad analizadora que comprende una sección de filtro;

10 la Fig. 13 muestra un diagrama de bloques de una realización del sistema para determinar las condiciones de la carretera, en la que el sistema comprende dos tipos de unidades analizadoras que evalúan las señales procedentes de cuatro sensores de velocidad de rueda diferentes;

15 la Fig. 14 muestra un diagrama de bloques de una realización alternativa a la de la Fig. 13;

la Fig. 15 muestra varios diagramas que representan el funcionamiento de la realización de la Fig. 13.

### 20 Descripción de las realizaciones preferidas

La Fig. 1 muestra un coche 1 que tiene cuatro ruedas y que marcha sobre una carretera que cambia las condiciones de su superficie de unas condiciones de superficie normal 2 a unas condiciones de superficie desigual 3. Unas condiciones de superficie normal pueden estar presentes, por ejemplo, cuando el coche 1 está marchando sobre una carretera asfáltica. Unas condiciones de carretera desigual pueden ocurrir, por ejemplo, sobre grava, asfalto desigual, hielo desigual y algunos tipos de carreteras nevadas. La flecha marcada con  $v$  en la Fig. 1 indica la dirección de marcha del coche 1. La flecha marcada con  $\omega$  indica la rotación de la rueda que está causada por el movimiento de avance del coche 1. En la descripción de las realizaciones que vienen a continuación, se explican los principios de la invención con referencia a un coche que tiene cuatro ruedas. Sin embargo, los sistemas y procedimientos propuestos también pueden aplicarse a otros tipos de vehículos, como por ejemplo camiones, autobuses y motocicletas, que tengan un número de ruedas diferente.

### Imperfecciones del sensor de velocidad de rueda

35 La Fig. 2 muestra un diagrama esquemático de un sensor de velocidad de rueda 4 que comprende una rueda dentada 5 con siete dientes idénticos 6. Un sensor 7 está situado en la circunferencia de la rueda dentada 5. El sensor 7 está dispuesto para generar una señal de sensor siempre que un diente 6 de la rueda dentada 5 pasa por el sensor 7. El sensor 7 puede ser un sensor óptico, un sensor magnético o cualquier otro tipo apropiado de sensor que pueda detectar la presencia y la no presencia de un diente 6.

40 El sensor 7 puede generar una señal de sensor siempre que el sensor 7 detecta un cambio de su entorno, es decir siempre que un diente 6 de la rueda dentada 5 entra o sale de la región del sensor, o sólo cuando un diente 6 entra (o alternativamente sale) en la región del sensor. En el ejemplo de la Fig. 2, hay en total siete señales de sensor generadas durante una revolución completa de la rueda dentada 5. Se aprecia que, en lugar de la rueda dentada 5, el sensor de velocidad de rueda 4 puede comprender cualquier tipo de elemento rotatorio segmentado 5 que genere una señal de sensor para cada segmento sensor que pasa 6. Otro ejemplo para tal elemento rotatorio segmentado 5 es un disco ranurado. En la siguiente descripción, el número total de segmentos se indica como  $L$ .  $L$  no está limitado al valor escogido en la realización de la Fig. 2 ( $L=7$ ), sino que puede ser un número entero positivo arbitrario.

50 Más detalladamente, el sensor 7 del sensor de velocidad de rueda 4 genera internamente una señal interna con dos estados posibles, alto y bajo (por ejemplo, alto indicando un sensor 7 cubierto y bajo indicando un sensor 7 descubierto), que a su vez activa la salida de una señal de reloj suministrada desde una unidad temporizadora (no mostrada), y genera un flujo de datos. El flujo de datos comprende muestras de datos en forma, por ejemplo, de un número real o entero  $t(n)$  que es representativo de la instancia de tiempo de la aparición de una señal interna correspondiente. El lapso de tiempo  $\Delta t(n)=t(n)-t(n-1)$  se define como la duración de tiempo entre dos señales internas sucesivas. Así,  $n$  es un número entero que indica el número de muestra, es decir,  $n=1$  corresponde a la primera señal del sensor,  $n=2$  a la segunda señal del sensor, etc.

60 En la Fig. 2, la línea continua representa un elemento rotatorio ideal 5 que comprende siete segmentos idénticos 6, en el que cada uno de los segmentos 6 abarca el ángulo  $\alpha$  representado en la Fig. 2. La línea de puntos de la Fig. 2 representa un elemento rotatorio no ideal 5 en el que los segmentos individuales 6 no tienen la misma longitud sino que difieren en longitud un ángulo de error  $\delta$ . Estas desviaciones de un ángulo nominal  $\alpha$  podrían surgir, por ejemplo, debido a errores de fabricación o desgaste durante el uso. En la siguiente descripción, las desviaciones  $\delta$  del valor nominal se denominan errores de imperfección y se supone que cada uno de los segmentos 6 del elemento rotatorio tiene su propio error de imperfección característico  $\delta_l$  ( $l=1, \dots, L$ ). Por ejemplo, en el documento PCT/EP02/12409 del mismo solicitante se desvelan realizaciones para estimar los errores de imperfección. En la siguiente descripción, se describe más detalladamente una realización adicional para estimar los errores de imperfección que está basada en las realizaciones desveladas en el documento PCT/EP02/12409.

## ES 2 303 043 T3

Así, la aparición de una señal del sensor indica que el elemento rotatorio 5 ha rotado alrededor de un ángulo de  $\alpha=2\pi/L$ , en el caso ideal sin errores de imperfección, y alrededor de un ángulo  $\alpha+\delta_1$  en el caso realista con errores de imperfección. A partir de estas señales del sensor que representan instancias de tiempo  $t(n)$  puede obtenerse un valor de velocidad de rueda correspondiente  $\omega(n)$  mediante la relación

$$\omega(n) = \frac{\alpha + \delta_1}{t(n) - t(n-1)} \quad \text{(Ec. 1)}$$

en la que un valor alto de  $\omega(n)$  indica una rueda que gira rápido y un valor bajo de  $\omega(n)$  es indicativo de una rueda que gira lentamente. Además, puede obtenerse un valor de estimación para la velocidad del vehículo relacionando la velocidad de rueda  $\omega(n)$  con el radio de neumático correspondiente.

En las siguientes realizaciones, por simplificación, todos los valores  $t(n)$ ,  $\Delta t(n)$  y  $\omega(n)$  están indicados como señales de velocidad de rueda y se considera que provienen del sensor de velocidad de rueda 4.

Por ejemplificación, la Fig. 3 muestra un diagrama de velocidades de rueda como función del tiempo, en el que las velocidades de rueda trazadas se obtuvieron durante una conducción de prueba de un coche de cuatro ruedas. El diagrama comprende cuatro líneas, representando cada línea una de las cuatro ruedas del coche. El diagrama muestra que durante el periodo de muestreo de 60 segundos, el vehículo estuvo marchando con velocidad casi constante correspondiente a una velocidad media de rueda de aproximadamente 42,3 rad/s. El diagrama muestra que, aunque marchando con velocidad casi constante, las señales de velocidad de rueda están fluctuando debido, por ejemplo, a la irregularidad de la carretera y las imperfecciones del sensor.

La Fig. 4 muestra, de una manera idealizada que desprecia la influencia de las condiciones de la carretera, el impacto de las imperfecciones de los segmentos de un sensor de velocidad de rueda 4 en la señal de velocidad de rueda obtenida  $\omega(n)$ . El diagrama de la Fig. 4 muestra los valores de velocidad de rueda  $\omega(n)$  como función del número de muestra  $n$ . En el diagrama se muestran 15 muestras  $n=1, \dots, 15$  que corresponden a tres revoluciones completas de un elemento rotatorio 5 que comprende  $L=5$  segmentos 6 en total. La Fig. 4 representa el caso de un coche 1 que marcha con velocidad exactamente constante  $v$ , en el que la curva de puntos corresponde a la señal de velocidad de rueda  $\omega(n)$  obtenida de un sensor de velocidad de rueda 4 que tiene un elemento rotatorio segmentado idealmente 5 y la curva continua corresponde al caso de un elemento rotatorio segmentado no ideal 5 que genera una fluctuación periódica de la velocidad de rueda alrededor del valor medio de 56 rad/s. El valor de 55 rad/s de la primera muestra corresponde a un segmento que es ligeramente mayor que un segmento nominal que produce así un valor de velocidad de rueda que es menor que el valor esperado de 56 rad/s. La tercera muestra corresponde a un segmento que corresponde exactamente a un segmento nominal que produce así el valor esperado de 56 rad/s. La cuarta muestra corresponde a un segmento que es menor que un segmento nominal que produce así una velocidad de rueda que es mayor que el valor nominal de 56 rad/s. La 5ª muestra corresponde al último segmento del elemento rotatorio y la 6ª muestra corresponde de nuevo a su primer segmento. Como resultado, la curva continua de la Fig. 4 muestra una periodicidad de cinco puntos de muestreo que corresponde a una revolución completa del elemento rotatorio 5 del sensor de velocidad de rueda 4.

A continuación se explican detalladamente más componentes del sistema para estimar las condiciones de la carretera bajo un vehículo. Sin embargo, debe observarse que la subdivisión de los componentes en secciones y subsecciones tiene que considerarse como ejemplar y no limitadora. La subdivisión se usa principalmente para aumentar la comprensibilidad de las siguientes realizaciones. Para alguien experto, esta subdivisión también puede servir de directriz para implementar el sistema. Pero, por supuesto, también se pueden contemplar otros modos de estructurar la funcionalidad del sistema. Por lo tanto, la subdivisión según las realizaciones presentadas debe considerarse como más bien artificial y no como definitoria de entidades físicas que pueden distinguirse fácilmente dentro del producto final.

### Unidad analizadora

La Fig. 5 muestra esquemáticamente los componentes de una realización del sistema para estimar las condiciones de la carretera. La señal de velocidad de rueda  $t(n)$  obtenida del sensor de velocidad de rueda 4 es introducida en una unidad analizadora 8 que obtiene un primer valor de estimación  $r(n)$  de la señal de velocidad de rueda  $t(n)$  recibida.

En general, la unidad analizadora 8 proporciona una señal de salida (por ejemplo, el primer valor de estimación  $r(n)$ ) que es indicativa de las condiciones de la carretera bajo una rueda del vehículo 1 basándose en las señales de velocidad de rueda recibidas (por ejemplo,  $t(n)$  o  $\omega(n)$ ) del sensor de velocidad de rueda 4 asociado. La señal de salida puede ser, por ejemplo, una señal binaria que indica unas condiciones de carretera desigual con un uno lógico (verdadero) y unas condiciones de carretera normal con un cero lógico (falso). La señal de salida también podría ser un valor real, por ejemplo en el intervalo de cero a uno, según el cual el valor uno indica unas condiciones de carretera desigual máxima, cero indica unas condiciones de carretera idealmente lisa y los valores intermedios para indicar condiciones de carretera que se encuentran entre estos dos extremos.

Una primera realización de la unidad analizadora 8 mostrada en la Fig. 5 comprende una sección de estimación de imperfección del sensor 9 para estimar imperfecciones del sensor  $\delta_1$  del elemento rotatorio 5 del sensor de velocidad de rueda 4 correspondiente. Genera una señal de imperfección del sensor  $\delta_1$  que comprende valores de imperfección

del sensor  $\hat{\delta}_1$ , uno para cada segmento 6 del elemento rotatorio 5. En una sección de corrección de señal 10, esta señal de imperfección del sensor  $\hat{\delta}_1$  se usa para obtener una señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$  de la señal de velocidad de rueda  $t(n)$ . Una sección de estimación de condiciones del terreno 11 determina luego el primer valor de estimación  $r(n)$  de la unidad analizadora 8 basándose en la señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$ .  
 5 La funcionalidad de la sección de estimación de imperfección 9, la sección de corrección de señal 10 y la sección de estimación de condiciones del terreno 11 se explica con más detalle a continuación con referencia a realizaciones particulares de estas secciones.

Debe observarse que la estructura anterior sólo representa una realización particular de una unidad analizadora  
 10 8. Se describe una segunda realización de la unidad analizadora con referencia a la Fig. 12 que tiene una estructura interna diferente.

*Sección de estimación de imperfección del sensor*

15 Como se expuso anteriormente, la sección de estimación de imperfección del sensor 9 estima las imperfecciones del sensor  $\delta_1$  del elemento rotatorio segmentado 5 a partir de la señal de velocidad de rueda  $t(n)$ .

En una realización de la sección de estimación de imperfección del sensor 9, las imperfecciones del sensor estimadas  $\hat{\delta}_1$  se calculan como valores medios ponderados de valores de imperfección del sensor  $y(n)$  de  $n-1$  revoluciones previas y  $n$  revoluciones actuales del elemento rotatorio 5.

Un valor medio ponderado puede obtenerse, por ejemplo, mediante un filtro de paso bajo que se implementa según la siguiente relación de filtrado:

$$LP : \hat{\delta}_{(n \bmod L)+1} = (1 - \mu)\hat{\delta}_{(n \bmod L)+1} + \mu y(n) \quad (\text{Ec. 2})$$

con

$$y(n) = \frac{2\pi}{T_{LAP}(n)}(t(n) - t(n-1)) - \frac{2\pi}{L} \quad (\text{Ec. 3})$$

35 en el que  $(n \bmod L)+1$  es el número del segmento 6 del elemento rotatorio 5 que corresponde al número de muestra  $n$ ,  $\hat{\delta}_{n \bmod L}$  es el valor de estimación de la imperfección del sensor correspondiente,  $\mu$  es un factor de olvido del filtro,  $t(n)$  y  $t(n-1)$  son valores consecutivos de la señal de velocidad de rueda,  $L$  es el número total de segmentos 6 del elemento rotatorio 5 y  $T_{LAP}(n)$  es la duración de una revolución completa del elemento rotatorio 5.

40 *Sección de corrección de señal*

Como se expuso anteriormente, la sección de corrección de señal proporciona una señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$  basada en la señal de velocidad de rueda  $t(n)$  y la señal de imperfección del sensor  $\hat{\delta}_1$ . Es importante destacar que la señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$  no contiene necesariamente valores que representan instancias de tiempo o velocidades de rotación o cantidades similares. También puede ser cualquier otra cantidad artificial que pueda representar apropiadamente una derivada con imperfección corregida de la señal de velocidad de rueda.

En una realización, la señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$  se obtiene de la relación

$$\varepsilon(n) = y(n) - \hat{\delta}_{(n \bmod L)+1} \quad (\text{Ec. 4})$$

55 en la que, como para la sección de estimación de imperfección del sensor 9 (capítulo anterior),

$$y(n) = \frac{2\pi}{T_{LAP}(n)}(t(n) - t(n-1)) - \frac{2\pi}{L}$$

60 en la que  $(n \bmod L)+1$  es el número del segmento 6 del elemento rotatorio 5 que corresponde al número de muestra  $n$ ,  $\hat{\delta}_{(n \bmod L)+1}$  es el valor de estimación de la imperfección del sensor correspondiente,  $\mu$  es un factor de olvido del filtro,  $t(n)$  y  $t(n-1)$  son valores consecutivos de la señal de velocidad de rueda,  $L$  es el número total de segmentos 6 del elemento rotatorio 5 y  $T_{LAP}(n)$  es la duración de una revolución completa del elemento rotatorio 5. Por supuesto, si  
 65 esta realización se implementa en combinación la realización de la sección de estimación de imperfección del sensor es posible usar los valores de imperfección del sensor  $y(n)$  calculados en la sección de estimación de imperfección del sensor 9 (compárese con la Ec. 3) como entrada de la Ec. 4.

*Sección y subsección de estimación de condiciones del terreno*

Como se expuso anteriormente, la sección de estimación de condiciones del terreno 11 determina la señal de salida de la unidad analizadora 8 (por ejemplo, un primer valor de estimación  $\alpha_i(n)$  que es indicativo de las condiciones de la carretera bajo la rueda particular del vehículo 1 con la que está asociada la unidad analizadora 8.

La Fig. 6 muestra esquemáticamente los componentes de una realización de la sección de estimación de condiciones del terreno 11. En la realización de la Fig. 6, la señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$  se introduce en una sección de estimación de varianza 12 que obtiene una varianza  $\alpha(n)$  a partir de la señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$ . Esta varianza  $\alpha(n)$  puede evaluarse luego en una subsección de estimación de condiciones del terreno 13 que a su vez puede comprender una sección de determinación de cambio de señal 14 y una sección de decisión 15. La sección de determinación de cambio de señal 14 determina un valor de cambio de señal  $CUSUMCounter(n)$  a partir de la varianza  $\alpha(n)$ . El valor de cambio de señal  $CUSUMCounter(n)$  se introduce en la sección de decisión 15 que genera el primer valor de estimación  $r(n)$ .

Además, la subsección de estimación de condiciones del terreno 13 no es una característica necesaria de la sección de condiciones del terreno 11. La Fig. 7, por ejemplo, muestra una realización de la sección de estimación de condiciones del terreno 11 que solamente comprende una sección de estimación de varianza 12.

*Sección de estimación de varianza*

En general, la sección de estimación de varianza 12 calcula una varianza (aquí, por ejemplo,  $r_2(n)$ ) basándose en una señal de entrada fluctuante (por ejemplo, la señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$ ). Hay varios modos de implementar la sección de estimación de varianza 12.

En la Fig. 6, la sección de estimación de varianza 12 es una subsección de la sección de estimación de condiciones del terreno 11 pero también puede ser una subsección de otros componentes (compárese con la realización de la Fig. 12 en la que es una subsección de la segunda realización de la unidad analizadora 19).

La realización de la sección de estimación de varianza 12 mostrada en la Fig. 8 determina una varianza  $\alpha(n)$  basándose en la señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$  usando un filtro de paso bajo 16 (debe observarse que el término “varianza” tal como se usa a lo largo de toda la memoria descriptiva no se refiere la definición matemática estándar sino a un valor de estimación de la varianza). El filtro de paso bajo 16 puede determinar, por ejemplo, la varianza  $\alpha(n)$  de la señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$  según la siguiente relación:

$$\alpha(n) = \text{Var}(\varepsilon) = LP(\varepsilon^2) - LP(\varepsilon)^2, \quad (\text{Ec. 5})$$

en la que  $LP(\varepsilon)$  es un valor filtrado con filtro de paso bajo de la señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$ , y  $LP(\varepsilon^2)$  es un valor filtrado con filtro de paso bajo del cuadrado  $\varepsilon^2(n)$  de la señal del sensor con imperfección corregida  $\varepsilon(n)$ .

Aquí, el filtro de paso bajo 16 puede implementarse según la siguiente relación de filtrado:

$$LP: \alpha(n+1) = (1-\lambda)\alpha(n) + \lambda\varepsilon(n), \quad (\text{Ec. 6})$$

en la que  $\alpha$  es un valor de estimación de la varianza  $\text{Var}(\varepsilon)$ ,  $\lambda$  es un factor de olvido del filtro, y  $\varepsilon(n)$  es la señal del sensor con imperfección corregida.

*Sección de determinación de cambio de señal*

La sección de determinación de cambio de señal 14 en general detecta cambios de señal en una señal de entrada (por ejemplo,  $\alpha(n)$  o  $\gamma(n)$ ) y para generar una señal (por ejemplo,  $CUSUMCounter(n)$ ) que es indicativa de cambios en la señal de entrada.

En la Fig. 6, la sección de determinación de cambio de señal 14 es una subsección de una subsección de estimación de condiciones del terreno 13. En otra realización que se va a describir a continuación (compárense las Figs. 10 y 13), es una subsección de una unidad de decisión 18.

En una primera realización, la sección de determinación de cambio de señal 14 determina valores de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) según la siguiente relación:

$$CUSUMCounter(n+1) = \min(\max(CUSUMCounter(n) + \alpha(n) - Drift, 0), CounterLimit), \quad (\text{Ec. 7})$$

en la que  $\alpha(n)$  es la varianza obtenida de la sección de determinación de varianza, y  $Drift$  y  $CounterLimit$  son parámetros de ajuste.

*Sección de decisión*

La sección de decisión 15 compara valores de entrada (por ejemplo, los valores de cambio de señal *CUSUMCounter(n)*) con valores umbrales predefinidos para obtener una decisión sobre las condiciones de la carretera. En general, la sección de decisión 15 es opcional (su valor de entrada ya contiene suficiente información sobre las condiciones de la carretera, su señal de salida sólo ayuda a interpretar más fácilmente la señal de entrada). Por ejemplo, la sección de decisión 15 puede generar una primera señal que indica unas condiciones de carretera desigual si el valor de entrada es superior a un valor umbral, y una segunda señal que indica unas condiciones de carretera normal si el valor de entrada es inferior al valor umbral. Para evitar fluctuaciones de la señal de salida cuando la señal de entrada está fluctuando en las inmediaciones del valor de entrada uno, los resultados de la sección de decisión 15 están basados preferentemente en más de un valor umbral.

En la realización mostrada en la Fig. 6, la sección de decisión 15 está incluida en la subsección de estimación de condiciones del terreno 13. Puede estar diseñada, por ejemplo, para comparar los valores de cambio de señal *CUSUMCounter(n)* procedentes de la sección de determinación de cambio de señal 14 con un primer y un segundo valores umbrales *set*, *reset* y para generar un primer valor de estimación actual  $r(n)$  indicativo de unas condiciones de carretera desigual si el valor de cambio de señal *CUSUMCounter(n)* es mayor que el primer valor umbral *set*, un primer valor de estimación actual  $r(n)$  indicativo de unas condiciones de carretera normal si el valor de cambio de señal *CUSUMCounter(n)* es inferior al segundo valor umbral *reset*, y si no, un primer valor de estimación actual  $r(n)$  que es igual al primer valor de estimación previo  $r(n-1)$ .

*Sistema para estimar las condiciones de la carretera bajo un vehículo que tiene cuatro ruedas*

Las Figs. 9 y 10 presentan realizaciones de un sistema para estimar las condiciones de la carretera bajo un vehículo 1 que tiene cuatro ruedas como el mostrado en la Fig. 1. Cada rueda del vehículo 1 está equipada con un sensor de velocidad de rueda 4.

La realización de la Fig. 9 comprende una unidad analizadora 8 para cada rueda  $i=FL,FR,RL,RR$  (*FL* = delantera izquierda, *FR* = delantera derecha, *RL* = trasera izquierda, *RR* = trasera derecha) del vehículo 1, en la que cada unidad analizadora 8 proporciona un primer valor de estimación  $\alpha_i(n)$  indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva. Una sección de combinación 17 combina luego los primeros valores de estimación  $\alpha_i(n)$  proporcionados desde cada una de las unidades analizadoras 8 para obtener un primer valor de estimación combinado  $\gamma(n)$  indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo 1.

La Fig. 10 muestra una realización en la que la sección de combinación 17 está incluida en una unidad de decisión 18 que realiza internamente un procesamiento posterior del valor de salida  $\gamma(n)$  procedente de la sección de combinación 17 para generar el primer valor de estimación  $r(n)$  que indica las condiciones de la carretera bajo el vehículo. La unidad de decisión 18 comprende además una sección de determinación de cambio de señal 14 (compárese con la descripción anterior con  $\alpha(n)$  sustituido por  $\gamma(n)$ ) que determina valores de cambio de señal *CUSUMCounter(n)* basándose en el valor de salida combinado  $\gamma(n)$  procedente de la sección de combinación 17. Los valores de cambio de señal *CUSUMCounter(n)* pueden entonces procesarse nuevamente en una sección de decisión 15 para obtener finalmente el primer valor de estimación  $r(n)$ .

Esta realización puede adaptarse fácilmente a cualquier tipo de vehículo que comprenda un número arbitrario de ruedas equipadas con sensores. Cuando se dispone de una señal de velocidad de rueda  $t(n)$  para cada rueda, por ejemplo, entonces los valores de estimación obtenidos de la misma pueden combinarse de varias maneras. Dependiendo de la aplicación, pueden ser de interés diferentes tipos de combinaciones de neumáticos. Algunas combinaciones de estos son *FL* + *RL* para detectar el lado izquierdo de la carretera desigual, *FR* + *RR* para detectar el lado derecho de la carretera desigual o *FR* + *FR* + *RL* + *RR* para conseguir gran solidez.

*Sección de combinación*

La sección de combinación 17 puede implementarse, por ejemplo, calculando el valor medio de sus señales de entrada, por ejemplo de los primeros valores de estimación  $\alpha_i(n)$  proporcionados desde las primeras unidades analizadoras 8.

Se pueden concebir otros procedimientos de implementación de la combinación de las señales. Las alternativas son, por ejemplo, redes de tipo de expansión en serie (redes neurales, redes funcionales de base radial, redes difusas, etc.), función mínimo comparada con un umbral, función máximo comparada con un umbral, valor medio comparado con un umbral, o todas las señales individuales se comparan con un umbral y la decisión se hace entonces por votación. Naturalmente, pueden combinarse varias de las alternativas enumeradas anteriormente.

*Sistema para estimar las condiciones de la carretera con dos tipos diferentes de unidades analizadoras*

La Fig. 11 muestra otra realización del sistema para estimar las condiciones de la carretera bajo un vehículo. Comprende dos unidades analizadoras diferentes, una primera unidad analizadora 8 y una segunda unidad analizadora 19, que operan sobre las mismas señales de velocidad de rueda  $t(n)$ .

## ES 2 303 043 T3

La primera unidad analizadora 8 está asociada con el sensor de velocidad de rueda 4 y determina un primer valor de estimación  $r_1(n)$  que es indicativo de las condiciones del terreno basándose en la señal de velocidad de rueda  $t(n)$  recibida desde el sensor de velocidad de rueda 4. Igual que la primera unidad analizadora 8, la segunda unidad analizadora 19 está asociada con el sensor de velocidad de rueda 4 y determina un segundo valor de estimación  $r_2(n)$  indicativo de las condiciones del terreno basándose en la señal de velocidad de rueda  $t(n)$  (respectivamente  $\omega(n)$ ) recibida desde el sensor de velocidad de rueda 4.

Una unidad de decisión 18 determina un valor de estimación combinado  $R(n)$  indicativo de las condiciones del terreno basándose en el primer y el segundo valores de estimación  $r_1(n)$ ,  $r_2(n)$  procedentes de la primera y la segunda unidades analizadoras 8, 19, respectivamente.

La primera y la segunda unidades analizadoras 8, 19 pueden ser un tipo diferente. En este caso, leves diferencias en sus propiedades pueden ayudar a mejorar el funcionamiento del sistema. Por ejemplo, si un primer valor de estimación  $r_1(n)$  que es generado desde la primera unidad analizadora 8 muestra debilidades en diferentes situaciones de marcha entonces una combinación con un segundo valor de estimación  $r_2(n)$  que es generado desde la segunda unidad analizadora 19 puede mejorar el funcionamiento de detección. Por supuesto, pueden combinarse más de dos unidades analizadoras.

Una opción es agrupar las señales según su fuente de origen, especialmente si los diferentes tipos de señales requieren diferentes algoritmos de procesamiento de señales. Debido a las diferentes propiedades de los diferentes tipos de señales, son procesadas usando algoritmos adaptados especialmente para esta señal. Dos o varias de las unidades analizadoras pueden ser idénticas. Para mejorar el algoritmo aún más también pueden aplicarse medidas de calidad.

### Segunda unidad analizadora

La segunda unidad analizadora 19 de la realización mostrada en la Fig. 12 comprende una sección de filtro de paso de banda o de paso alto 21 para filtrado de paso de banda (por ejemplo, en el intervalo de 30-60 Hz) o filtrado de paso alto de la señal de velocidad de rueda  $\omega(n)$  para eliminar el contenido de baja frecuencia de la señal de velocidad de rueda  $\omega(n)$ , como la aceleración del vehículo. La implementación del filtro de paso alto puede ser similar a la descrita en relación con la Fig. 8. El filtrado está motivado por el hecho de que una carretera desigual, en particular una carretera de grava, añade ruido (blanco) al espectro de frecuencia de la señal de velocidad de rueda  $\omega(n)$ . Alternativamente, en lugar de usar directamente las señales de velocidad de rueda  $\omega(n)$  ya pueden usarse señales de velocidad de rueda con imperfección corregida como entrada para la sección de filtro de paso de banda o paso alto 21. La segunda unidad analizadora 19 comprende además una sección de estimación de varianza 12 para determinar un valor de varianza  $\beta(n)$  a partir de la señal de velocidad de rueda filtrada  $\tilde{\omega}(n)$ , en el que el valor de varianza  $\beta(n)$  es indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva y de este modo puede usarse como segundo valor de estimación  $r_2(n)$  que es generado desde la segunda unidad analizadora 19. La sección de estimación de varianza 19 puede ser, por ejemplo, similar a la de la realización descrita en relación con la Fig. 6.

Se pueden concebir más realizaciones de la segunda unidad analizadora 19 para calcular el valor de estimación  $r(n)$ . Por ejemplo, puede utilizarse una correlación lateral entre la rueda delantera (FL o FR) y la trasera (RL y RR, respectivamente) en el mismo lado del coche 1. Si el vehículo se desplaza sobre una superficie desigual, entonces la correlación a un cierto retraso dependiente de la velocidad será más alta. Puede obtenerse un valor de estimación  $r(n)$  de las relaciones:

$$R(n, k) = \omega_{FL}(n) \omega_{RL}(n - k)$$

$$r(n) = \max_n R(n, k) \quad , \quad (\text{Ec. 8})$$

en las que  $k$  es el número de muestra. Puede calcularse un valor nominal de  $k$  con

$$k_{\text{nominal}} = \frac{B}{v(n)} T_s \quad , \quad (\text{Ec. 9})$$

donde  $B$  es la distancia entre el eje delantero y el trasero,  $v(n)$  es la velocidad del vehículo, y  $T_s$  es el periodo de muestreo de  $v$ .  $R(n, k)$  puede calcularse entonces en las inmediaciones de  $k_{\text{nominal}}$ . Para obtener más detalles sobre análisis de correlación, se hace referencia al documento PCT/EP03/07282.

Alternativamente, puede usarse una correlación axial entre el lado izquierdo y el lado derecho del coche 1 para determinar el valor de estimación  $r(n)$ . Para un coche de tracción delantera puede usarse, por ejemplo, la relación

$$r(n) = \omega_{FL}(n) - \omega_{FR}(n) - [\omega_{FL}(n-1) - \omega_{FR}(n-1)] = a_{FL}(n) - a_{FR}(n) \quad (\text{Ec. 10})$$

## ES 2 303 043 T3

El valor de estimación  $r(n)$  se compara luego con un umbral predefinido para determinar unas condiciones de carretera desigual. Alternativamente puede usarse la suma

$$r(n) = \sum_{i=FL,FR,RL,RR} Var(a_i(n)) \quad (\text{Ec. 11})$$

de la varianza de las cantidades  $a_i(n)$  definidas en la Ec. 10 o cualquier combinación lineal de un subconjunto de las cuatro cantidades. En la Ec. 11,  $Var$  es la varianza de la cantidad.

En otra realización alternativa de la segunda unidad analizadora 19, la unidad analizadora 19 monitoriza la frecuencia de Fourier más alta de la señal de velocidad de rueda según la relación

$$r(n) = \sum_k (-1)^k \omega(k) \quad (\text{Ec. 12})$$

El valor de estimación  $r(n)$  se compara luego con un umbral predefinido para determinar unas condiciones de carretera desigual.

Otra realización alternativa adicional de la segunda unidad analizadora 19 puede estar basada en las señales de velocidad de rueda filtradas con filtro de paso de banda y el parámetro de varianza de resbalamiento obtenido de un análisis del radio de la rueda (compárese con el documento PCT/EP03/07283) y/o un análisis de fricción de la carretera.

*Sistema para estimar las condiciones de la carretera bajo un vehículo que tiene cuatro ruedas por medio de dos tipos diferentes de unidades analizadoras*

La Fig. 13 muestra una nueva realización del sistema para estimar las condiciones de la carretera bajo un vehículo. La realización está dirigida a un coche 1 con cuatro ruedas  $i=FL,FR,RL,RR$  cada una equipada con un sensor de velocidad de rueda 4. Los sensores de velocidad de rueda 4 proporcionan las señales de velocidad de rueda  $t_i(n)$  donde  $i=FL,FR,RL,RR$ .

Una primera unidad analizadora 8 está asociada con cada una de las ruedas  $i=FL,FR,RL,RR$  en las que cada primera unidad analizadora 8 proporciona un primer valor de estimación  $\alpha_i(n)$  indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva.

Una primera sección de combinación 17 combina los primeros valores de estimación  $\alpha_i(n)$  proporcionados desde cada una de las primeras unidades analizadoras 8 para obtener un primer valor de estimación combinado  $\gamma(n)$  indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo. El primer valor de estimación combinado  $\gamma(n)$  es introducido en una sección de determinación de cambio de señal 14 que determina valores de cambio de señal  $CUSUMCounter(n)$  basándose en los primeros valores de estimación combinados  $\gamma(n)$  según la siguiente relación (compárese con la anterior):

$$CUSUMCounter(n+1) = \min(\max(CUSUMCounter(n) + \gamma(n) - Drift, 0), CounterLimit),$$

en la que  $Drift$  y  $CounterLimit$  son parámetros de ajuste.

Una segunda unidad analizadora 19 está asociada con cada rueda  $i=FL,FR,RL,RR$  del vehículo 1, en la que cada segunda unidad analizadora 19 proporciona un segundo valor de estimación  $\beta_i(n)$  indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva.

Una segunda sección de combinación 17 combina los segundos valores de estimación  $\beta_i(n)$  proporcionados desde cada una de las segundas unidades analizadoras 19 para obtener un segundo valor de estimación combinado  $r_2(n)$  indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo.

Una sección de combinación de salida 22 combina finalmente los valores de cambio de señal  $CUSUMCounter(n)$  y los segundos valores de estimación combinados  $r_2(n)$  para obtener un valor de estimación combinado  $\Omega(n)$  indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo 1. Por ejemplo, puede simplemente multiplicar ambos valores  $CUSUMCounter(n)$  y  $r_2(n)$ . Naturalmente, se pueden concebir otras combinaciones de señales (promediado, suma, etc.). La sección de combinación de salida 22 puede implementarse similar a la primera y la segunda secciones de combinación 17 y 17' como las descritas anteriormente, en particular mediante una red del tipo de expansión en serie (redes difusas o neurales), diseñada (enseñada) de tal manera que genere un valor entre 0 y 1, con 0 representando lisura máxima y 1 representando irregularidad máxima. En general, todos los valores de entrada que tengan, por ejemplo, valores entre 0 y 1 (como  $\alpha_i(n)$ ,  $\beta_i(n)$ ,  $\gamma(n)$ ,  $r_2(n)$ ) pueden combinarse entre sí según el procedimiento anterior.

## ES 2 303 043 T3

Opcionalmente, puede añadirse una sección de decisión 15 para realizar un procesamiento posterior de la señal de salida  $\Omega(n)$  de la sección de combinación de salida 15. Anteriormente se describe una realización apropiada de la sección de decisión 15 bajo el artículo “Sección de decisión”.

5

*Realización alternativa del sistema para estimar las condiciones de la carretera bajo un vehículo que tiene cuatro ruedas con dos tipos diferentes de unidades analizadoras*

10 La Fig. 14 muestra una realización alternativa del sistema anterior mostrado en la Fig. 13. Se diferencia del de la Fig. 13 en que la sección de determinación de cambio de señal 14 está acoplada a la sección de combinación de salida 22 en lugar de a la primera sección de combinación 17.

*Resultados de la operación*

15

Las Figs. 15a-e muestran resultados de la operación del sistema que corresponde a la realización de la Fig. 13. Sobre las abscisas de todos los diagramas de las Figs. 15a-e está trazado el intervalo de tiempo de operación de aproximadamente 105 minutos. Sobre las ordenadas están trazados diferentes valores de señal obtenidos durante la operación del sistema. Como aquí sólo es relevante el comportamiento cualitativo de la señal, no está definida ni descrita en detalle la magnitud de los valores trazados.

20

En el diagrama de la Fig. 15a, el primer valor de estimación combinado  $\gamma(n)$  de la primera sección de combinación 17 está trazado como una función del tiempo. El diagrama muestra además una elección del parámetro de ajuste *drift* en relación con el primer valor de estimación combinado  $\gamma(n)$ . Como puede apreciarse a partir de un área sombreada en el diagrama que representa una carretera desigual, el primer valor de estimación  $\gamma(n)$  es mayor que el parámetro de ajuste *drift* sobre una carretera desigual, y, si no, menor.

25

El diagrama de la Fig. 15b muestra la señal de cambio de señal  $CUSUMCounter(n)$  que es generado desde la sección de determinación de cambio de señal 14. En principio, esta señal ya puede usarse para detectar las condiciones de la carretera (por ejemplo, si esta señal se compara con un valor  $CUSUMCounter(n)=5$  como valor umbral).

30

El diagrama de la Fig. 15c muestra el segundo valor de estimación combinado  $r_2(n)$  que es generado desde la segunda sección de combinación 17. De nuevo, esta señal ya puede usarse para determinar las condiciones de la carretera.

35

La Fig. 15b y la Fig. 15c muestran una relación interesante entre las dos señales  $CUSUMCounter(n)$  y  $r_2(n)$ . Las dos indican carretera desigual correctamente pero no indican incorrectamente carretera desigual simultáneamente. A 95 minutos, por ejemplo, la señal de cambio de señal  $CUSUMCounter(n)$  da una fuerte indicación de carretera desigual pero este no es el caso para el segundo valor de estimación combinado  $r_2(n)$ . Se da el comportamiento opuesto a los 18 minutos aproximadamente.

40

El diagrama de la Fig. 15d muestra el producto  $\Omega(n)$  de los dos indicadores  $CUSUMCounter(n)$  y  $r_2(n)$  así como los dos umbrales *set* y *reset* usados en la sección de decisión 15. En este diagrama, se indica correctamente una carretera desigual, mientras que no se indica falsamente una carretera desigual sobre una carretera lisa.

45

El valor de estimación combinado  $R(n)$  generado desde la unidad de decisión 18 se muestra en el diagrama de la Fig. 15e. Claramente, se estiman correctamente las condiciones de carretera desigual en el intervalo de tiempo de aproximadamente 30 a 40 minutos.

50

*Programa informático*

Las realizaciones de los productos de programas informáticos con código de programa para realizar los procedimientos anteriores incluyen cualquier medio legible por una máquina que sea capaz de almacenar o codificar el código de programa. Por consiguiente, se aceptará que el término “medio legible por una máquina” incluye, pero no está limitado a memorias de estado sólido, medios de almacenamiento óptico y magnético, y señales de onda portadora. El código de programa puede ser código de máquina u otro código que pueda ser convertido en código de máquina por compilación y/o interpretación, como código fuente en un lenguaje de programación de alto nivel, como C++, o en cualquier otro lenguaje de programación imperativo o funcional adecuado, o código de máquina virtual. El producto de programa informático puede comprender un portador de datos provisto del código de programa u otro medio ideado para controlar o dirigir un aparato de procesamiento de datos para realizar el procedimiento de acuerdo con la descripción. Un aparato de procesamiento de datos que ejecuta el procedimiento incluye típicamente una unidad de procesamiento central, medios de almacenamiento de datos y una interfaz de entrada/salida para valores de señales o parámetros.

60

Por lo tanto, un propósito general de las realizaciones desveladas es proporcionar procedimientos y productos mejorados que permitan determinar con más exactitud unas condiciones de carretera desigual por medio de sensores de velocidad de rueda que, en particular, ya existen dentro de los sistemas electrónicos comunes de los vehículos (sistema antibloqueo de frenos y similares).

65

## ES 2 303 043 T3

Aunque en este documento se han descrito ciertos procedimientos y productos contruidos de acuerdo con las enseñanzas de la invención, el ámbito de cobertura de esta patente no está limitado a los mismos. Por el contrario, esta patente abarca todas las realizaciones de las enseñanzas de la invención que entren dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

# ES 2 303 043 T3

## REIVINDICACIONES

1. Sistema para estimar las condiciones del terreno bajo un vehículo en marcha, que comprende:

5 - un sensor de velocidad de rueda (4) para detectar una señal de velocidad de rueda ( $t(n)$ ,  $\omega(n)$ ) que es indicativa de la velocidad de la rueda de una rueda del vehículo que marcha sobre el terreno (2, 3); y

- una primera unidad analizadora (8) acoplada a dicho sensor de velocidad de rueda (4) que comprende

10 - una sección de estimación de imperfección del sensor (9) que está diseñada para estimar una señal de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ) a partir de la señal de velocidad de rueda ( $t(n)$ ) que es indicativa de la imperfección del sensor del sensor de velocidad de rueda (4),

15 - una sección de corrección de señal (10) que está diseñada para determinar una señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ) a partir de la señal de velocidad de rueda ( $t(n)$ ) y la señal de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ), y

20 - una sección de estimación de condiciones del terreno (11) que está diseñada para estimar un primer valor de estimación ( $r(n)$ ,  $\alpha(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno a partir de la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ).

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el sensor de velocidad de rueda (4) comprende un elemento rotatorio segmentado (5), y la sección de estimación de imperfección del sensor (9) está diseñada para estimar, en cada revolución del elemento rotatorio (5), un valor de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ) representativo de la señal de imperfección del sensor para cada uno de los segmentos (6) del elemento rotatorio (5).

3. El sistema de la reivindicación 2, en el que el valor de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ) es una media ponderada de los valores de imperfección del sensor ( $y(n)$ ) de revoluciones previas y actuales ( $n$ ) del elemento rotatorio.

4. El sistema de la reivindicación 2, en el que la sección de estimación de imperfección del sensor (9) comprende un filtro de paso bajo que se implementa según la siguiente relación de filtrado:

$$LP: \hat{\delta}_1 = (1 - \mu)\hat{\delta}_1 + \mu y(n)$$

con

$$y(n) = \frac{2\pi}{T_{LAP}(n)}(t(n) - t(n-1)) - \frac{2\pi}{L}$$

en la que  $\hat{\delta}_1$  es un valor de estimación de la imperfección del sensor,  $\mu$  es un factor de olvido del filtro,  $t(n)$  y  $t(n-1)$  son la señal de velocidad de rueda,  $L$  es el número total de segmentos (6) del elemento rotatorio (5) y  $T_{LAP}(n)$  es la duración de una revolución completa del elemento rotatorio (5).

5. El sistema de una de las reivindicaciones precedentes, en el que la sección de estimación de condiciones del terreno (11) comprende:

50 - una sección de determinación de varianza (12) que está diseñada para determinar la varianza ( $\alpha(n)$ ) de la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ), y

55 - una subsección de estimación de condiciones del terreno (13) que está diseñada para estimar el primer valor de estimación ( $r(n)$ ) basándose en la varianza ( $\alpha(n)$ ) así determinada.

6. El sistema de la reivindicación 5, en el que la sección de determinación de varianza (12) comprende un filtro de paso bajo (16) para determinar la varianza ( $\alpha(n)$ ) de la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ) según la siguiente relación:

$$\alpha(n) = \text{Var}(\varepsilon) = LP(\varepsilon^2) - LP(\varepsilon)^2,$$

en la que  $LP(\varepsilon)$  es un valor filtrado con filtro de paso bajo de la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ) y  $LP(\varepsilon^2)$  es un valor filtrado con filtro de paso bajo del cuadrado ( $\varepsilon^2(n)$ ) de la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ).

## ES 2 303 043 T3

7. El sistema de la reivindicación 6, en el que el filtro de paso bajo (16) se implementa según la siguiente relación de filtrado:

$$5 \quad \mathbf{LP:} \quad \alpha(n+1) = (1-\lambda)\alpha(n) + \lambda\varepsilon(n),$$

en la que  $\alpha$  es un valor de estimación de la varianza  $Var(\varepsilon)$ ,  $\lambda$  es un factor de olvido del filtro, y  $\varepsilon(n)$  es la señal del sensor con imperfección corregida.

10 8. El sistema de la reivindicación 5, en el que la subsección de estimación de condiciones del terreno (13) comprende una sección de determinación de cambio de señal (14) que está diseñada para determinar valores de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) según la siguiente relación:

$$15 \quad CUSUMCounter(n+1) = \min(\max(CUSUMCounter(n) + \alpha(n) - \\ Drift, 0), CounterLimit),$$

20 en la que  $\alpha(n)$  es la varianza obtenida de la sección de determinación de varianza, y  $Drift$  y  $CounterLimit$  son parámetros de ajuste.

25 9. El sistema de la reivindicación 8, en el que la subsección de estimación de condiciones del terreno (13) comprende además una sección de decisión (15) que está diseñada para comparar los valores de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) procedentes de la sección de determinación de cambio de señal (14) con un primer y un segundo valores umbrales ( $set$ ,  $reset$ ) y para generar un primer valor de estimación actual ( $r(n)$ ) indicativo de unas condiciones de carretera desigual si el valor de cambio de señal actual ( $CUSUMCounter(n)$ ) es mayor que el primer valor umbral ( $set$ ), un primer valor de estimación actual indicativo de unas condiciones de carretera normal si el valor de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) es inferior al segundo valor umbral ( $reset$ ), y si no, un primer valor de estimación actual igual al primer valor de estimación previo ( $r(n-1)$ ).

30 10. El sistema de una de las reivindicaciones precedentes, que comprende:

35 - una primera unidad analizadora (8) para cada rueda ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) del vehículo que tiene más de una rueda, en la que cada primera unidad analizadora (8) está diseñada para proporcionar un primer valor de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva, y

40 - una sección de combinación (17) que está diseñada para combinar los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) proporcionados desde cada una de las primeras unidades analizadoras (8) para obtener un primer valor de estimación combinado ( $\gamma(n)$ ,  $I_{hl}(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo.

11. El sistema de la reivindicación 10, en el que el primer valor de estimación combinado ( $\gamma(n)$ ,  $I_{hl}(n)$ ) se determina

45 - promediando los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) proporcionados desde cada una de las primeras unidades analizadoras (8),

- usando redes de tipo de expansión en serie, en particular redes neurales, redes funcionales de base radial, redes difusas, basándose en los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ),

50 - usando una función mínimo basándose en los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ), y/o

- usando una función máximo basándose en los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ).

55 12. El sistema de la reivindicación 10 u 11, en combinación con la reivindicación 8 ó 9, en el que la sección de determinación de cambio de señal (14) está acoplada a la sección de combinación (17) para determinar el valor de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) basándose en el primer valor de estimación combinado ( $\gamma(n)$ ).

13. El sistema de una de las reivindicaciones precedentes, que además comprende:

60 - una segunda unidad analizadora (19) que está asociada con el sensor de velocidad de rueda (4) y está diseñada para determinar un segundo valor de estimación ( $\beta(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno a partir de la señal de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) recibida desde el sensor de velocidad de rueda (4); y

65 - una unidad de decisión (18) que está diseñada para determinar un valor de estimación combinado ( $R(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno basándose en el primer y el segundo valores de estimación ( $\alpha(n)$ ,  $\beta(n)$ ) procedentes de la primera y la segunda unidades analizadoras (8, 19), respectivamente.

## ES 2 303 043 T3

14. El sistema de la reivindicación 13, en el que la segunda unidad analizadora (19) comprende:

- una sección de filtro de paso de banda o de paso alto (21) para filtrado de la señal de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ), y una sección de estimación de varianza (12) para determinar un valor de varianza ( $\beta(n)$ ) a partir de la señal de velocidad de rueda filtrada ( $\tilde{\omega}(n)$ ), en la que el valor de varianza ( $\beta(n)$ ) es indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva;

- una sección de correlación lateral que está diseñada para correlacionar las señales de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) de las ruedas ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) en un primer lado del vehículo (1) con las señales de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) de las ruedas ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) en un segundo lado del vehículo (1), en la que el valor de correlación ( $r(n)$ ) es indicativo de las condiciones del terreno;

- una sección de correlación axial que está diseñada para correlacionar las señales de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) de las ruedas ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) en un primer eje del vehículo (1) con las señales de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) de las ruedas ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) en un segundo eje del vehículo (1), en la que el valor de correlación ( $r(n)$ ) es indicativo de las condiciones del terreno; o

- una sección de determinación de frecuencia que está diseñada para determinar la frecuencia de Fourier más alta ( $r(n)$ ) de la señal de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) que es indicativa de las condiciones del terreno.

15. El sistema de la reivindicación 13 ó 14, que comprende:

- una primera unidad analizadora (8) para cada rueda ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) del vehículo que tiene más de una rueda, en la que cada primera unidad analizadora (8) está diseñada para proporcionar un primer valor de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva, y

- una primera sección de combinación (17) que está diseñada para combinar los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) proporcionados desde cada una de las primeras unidades analizadoras (8) para obtener un primer valor de estimación combinado ( $\gamma(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo;

- una sección de determinación de cambio de señal (14) que está diseñada para determinar valores de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) basándose en los primeros valores de estimación combinados ( $\gamma(n)$ ) según la siguiente relación:

$$CUSUMCounter(n+1) = \min(\max(CUSUMCounter(n) + \gamma(n) - Drift, 0), CounterLimit),$$

en la que  $Drift$  y  $CounterLimit$  son parámetros de ajuste;

- una segunda unidad analizadora (19) para cada rueda ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) del vehículo, en la que cada segunda unidad analizadora (19) está diseñada para proporcionar un segundo valor de estimación ( $\beta_i(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva, y

- una segunda sección de combinación (17) que está diseñada para combinar los segundos valores de estimación ( $\beta_i(n)$ ) proporcionados desde cada una de las segundas unidades analizadoras (19) para obtener un segundo valor de estimación combinado ( $r_2(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo,

- una sección de combinación de salida (22) para combinar los valores de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) y los segundos valores de estimación combinados ( $r_2(n)$ ) para obtener un valor de estimación combinado ( $\Omega(n), R(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo.

16. El sistema de la reivindicación 13 ó 14, que comprende:

- una primera unidad analizadora (8) para cada rueda ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) del vehículo que tiene más de una rueda, en la que cada primera unidad analizadora (8) está diseñada para proporcionar un primer valor de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva, y

- una primera sección de combinación (17) que está diseñada para combinar los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) proporcionados desde cada una de las primeras unidades analizadoras (8) para obtener un primer valor de estimación combinado ( $r_1(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo;

- una segunda unidad analizadora (19) para cada rueda ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) del vehículo, en la que cada segunda unidad analizadora (19) está diseñada para proporcionar un segundo valor de estimación ( $\beta_i(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva, y

## ES 2 303 043 T3

- una segunda sección de combinación (17) que está diseñada para combinar los segundos valores de estimación ( $\beta_2(n)$ ) proporcionados desde cada una de las segundas unidades analizadoras (19) para obtener un segundo valor de estimación combinado ( $r_2(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo,

5 - una sección de combinación de salida (22) para combinar los primeros y los segundos valores de estimación combinados ( $r_1(n)$ ,  $r_2(n)$ ) para obtener un valor de estimación combinado ( $\Omega(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo; y

10 - una sección de determinación de cambio de señal (14) que está diseñada para determinar valores de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) basándose en los valores de estimación combinados ( $\Omega(n)$ ) procedentes de la sección de combinación de salida (22) según la siguiente relación:

$$15 \quad CUSUMCounter(n+1) = \min(\max(CUSUMCounter(n) + \Omega(n) - Drift, 0), CounterLimit),$$

en la que  $Drift$  y  $CounterLimit$  son parámetros de ajuste.

20 17. El sistema de la reivindicación 15 ó 16, que además comprende una sección de decisión (15) según la reivindicación 9.

25 18. Procedimiento para estimar las condiciones del terreno bajo un vehículo en marcha, que comprende las etapas de:

- detectar una señal de velocidad de rueda ( $t(n)$ ,  $\omega(n)$ ) por medio de un sensor de velocidad de rueda (4) que es indicativa de la velocidad de la rueda de una rueda del vehículo que marcha sobre el terreno (2, 3); y

30 - estimar una señal de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ) a partir de la señal de velocidad de rueda ( $t(n)$ ) que es indicativa de la imperfección del sensor del sensor de velocidad de rueda (4);

35 - determinar una señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ) a partir de la señal de velocidad de rueda ( $t(n)$ ) y la señal de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ); y

- estimar un primer valor de estimación ( $r(n)$ ,  $\alpha(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno a partir de la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ).

40 19. El procedimiento de la reivindicación 18, en el que la etapa de estimar la señal de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ) a partir de la señal de velocidad de rueda ( $t(n)$ ) comprende estimar, en cada revolución del elemento rotatorio (5), un valor de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ) representativo de la señal de imperfección del sensor para cada uno de los segmentos (6) del elemento rotatorio (5).

20. El procedimiento de la reivindicación 19, en el que el valor de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ) es una media ponderada de los valores de imperfección del sensor ( $y(n)$ ) de revoluciones previas y actuales ( $n$ ) del elemento rotatorio.

50 21. El procedimiento de la reivindicación 19, en el que la etapa de estimar la señal de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ) a partir de la señal de velocidad de rueda ( $t(n)$ ) comprende una etapa de filtrado de paso bajo según la siguiente relación de filtrado:

$$55 \quad LP: \hat{\delta}_1 = (1 - \mu)\hat{\delta}_1 + \mu y(n)$$

en la que

$$60 \quad y(n) = \frac{2\pi}{T_{LAP}(n)}(t(n) - t(n-1)) - \frac{2\pi}{L}$$

65 en la que  $\hat{\delta}_1$  es un valor de estimación de la imperfección del sensor,  $\mu$  es un factor de olvido del filtro,  $t(n)$  y  $t(n-1)$  son la señal de velocidad de rueda,  $L$  es el número total de segmentos (6) del elemento rotatorio (5) y  $T_{LAP}(n)$  es la duración de una revolución completa del elemento rotatorio (5).

## ES 2 303 043 T3

22. El procedimiento de una de las reivindicaciones precedentes, que además comprende las etapas de:

- determinar una varianza ( $\alpha(n)$ ) de la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ), y
- estimar el primer valor de estimación ( $r(n)$ ) basándose en la varianza ( $\alpha(n)$ ) así determinada.

23. El procedimiento de la reivindicación 22, en el que la etapa de determinar una varianza ( $\alpha(n)$ ) de la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ) comprende la etapa de filtrar con un filtro de paso bajo la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ) según la siguiente relación:

$$\alpha(n) = \text{Var}(\varepsilon) = \text{LP}(\varepsilon^2) - \text{LP}(\varepsilon)^2,$$

en la que  $\text{LP}(\varepsilon)$  es un valor filtrado con filtro de paso bajo de la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ) y  $\text{LP}(\varepsilon^2)$  es un valor filtrado con filtro de paso bajo del cuadrado ( $\varepsilon^2(n)$ ) de la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ).

24. El procedimiento de la reivindicación 23, en el que el filtrado con filtro de paso bajo se implementa según la siguiente relación de filtrado:

$$\text{LP}: \alpha(n+1) = (1-\lambda)\alpha(n) + \lambda\varepsilon(n),$$

en la que  $\alpha$  es un valor de estimación de la varianza  $\text{Var}(\varepsilon)$ ,  $\lambda$  es un factor de olvido del filtro, y  $\varepsilon(n)$  es la señal del sensor con imperfección corregida.

25. El procedimiento de una de las reivindicaciones precedentes, que además comprende la etapa de determinar valores de cambio de señal ( $\text{CUSUMCounter}(n)$ ) según la siguiente relación:

$$\text{CUSUMCounter}(n+1) = \min(\max(\text{CUSUMCounter}(n) + \alpha(n) - \text{Drift}, 0), \text{CounterLimit}),$$

en la que  $\alpha(n)$  es la varianza obtenida de la sección de determinación de varianza, y  $\text{Drift}$  y  $\text{CounterLimit}$  son parámetros de ajuste.

26. El procedimiento de la reivindicación 25, que además comprende comparar los valores de cambio de señal ( $\text{CUSUMCounter}(n)$ ) con un primer y un segundo valores umbrales ( $\text{set}$ ,  $\text{reset}$ ) y generar un primer valor de estimación actual ( $r(n)$ ) indicativo de unas condiciones de carretera desigual si el valor de cambio de señal actual ( $\text{CUSUMCounter}(n)$ ) es mayor que el primer valor umbral ( $\text{set}$ ), un primer valor de estimación actual indicativo de unas condiciones de carretera normal si el valor de cambio de señal ( $\text{CUSUMCounter}(n)$ ) es inferior al segundo valor umbral ( $\text{reset}$ ), y si no, un primer valor de estimación actual igual al primer valor de estimación previo ( $r(n-1)$ ).

27. El procedimiento de una de las reivindicaciones precedentes, que además comprende:

- proporcionar un primer valor de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva para cada rueda ( $i=FL, FR, RL, RR$ ) del vehículo que tiene más de una rueda, y
- combinar los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) para obtener un primer valor de estimación combinado ( $\gamma(n)$ ,  $I_{hl}(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo.

28. El procedimiento de la reivindicación 27, en el que el primer valor de estimación combinado ( $\gamma(n)$ ,  $I_{hl}(n)$ ) se determina

- promediando los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) proporcionados desde cada una de las primeras unidades analizadoras (8),
- usando redes de tipo de expansión en serie, en particular redes neurales, redes funcionales de base radial, redes difusas, basándose en los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ),
- usando una función mínimo basándose en los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ), y/o
- usando una función máximo basándose en los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ).

## ES 2 303 043 T3

29. El procedimiento de la reivindicación 27 ó 28, en combinación con la reivindicación 8 ó 9, en el que un valor de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) se determina basándose en el primer valor de estimación combinado ( $\gamma(n)$ ).

5 30. El procedimiento de una de las reivindicaciones precedentes, que además comprende:

- determinar un segundo valor de estimación ( $\beta(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno a partir de la señal de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) recibida desde el sensor de velocidad de rueda (4); y

10 - determinar un valor de estimación combinado ( $R(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno basándose en el primer y el segundo valores de estimación ( $\alpha(n)$ ,  $\beta(n)$ ).

31. El procedimiento de la reivindicación 30, que además comprende:

15 - filtrar la señal de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) con un filtro de paso de banda o de paso alto, y determinar un valor de varianza ( $\beta(n)$ ) a partir de la señal de velocidad de rueda filtrada ( $\tilde{\omega}(n)$ ), en el que el valor de varianza ( $\beta(n)$ ) es indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva;

20 - correlacionar las señales de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) de las ruedas ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) en un primer lado del vehículo (1) con las señales de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) de las ruedas ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) en un segundo lado del vehículo (1), en el que el valor de correlación ( $r(n)$ ) es indicativo de las condiciones del terreno;

25 - correlacionar las señales de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) de las ruedas ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) en un primer eje del vehículo (1) con las señales de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) de las ruedas ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) en un segundo eje del vehículo (1), en el que el valor de correlación ( $r(n)$ ) es indicativo de las condiciones del terreno; o

- determinar la frecuencia de Fourier más alta ( $r(n)$ ) de la señal de velocidad de rueda ( $\omega(n)$ ) que es indicativa de las condiciones del terreno.

30

32. El procedimiento de la reivindicación 30 ó 31, que comprende las etapas de:

35 - proporcionar un primer valor de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva, para cada rueda ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) del vehículo que tiene más de una rueda; y

- combinar los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) para obtener un primer valor de estimación combinado ( $\gamma(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo;

40 - determinar valores de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) basándose en los primeros valores de estimación combinados ( $\gamma(n)$ ) según la siguiente relación:

$$45 \quad CUSUMCounter(n+1) = \min(\max(CUSUMCounter(n) + \gamma(n) - \\ Drift, 0), CounterLimit),$$

en la que  $Drift$  y  $CounterLimit$  son parámetros de ajuste;

50 - proporcionar un segundo valor de estimación ( $\beta_i(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva, para cada rueda ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) del vehículo, y

55 - combinar los segundos valores de estimación ( $\beta_i(n)$ ) para obtener un segundo valor de estimación combinado ( $r_2(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo,

- combinar los valores de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) y los segundos valores de estimación combinados ( $r_2(n)$ ) para obtener un valor de estimación combinado ( $\Omega(n)$ ,  $R(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo.

60

33. El procedimiento de la reivindicación 30 ó 31, que comprende:

65 - para cada rueda ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) del vehículo que tiene más de una rueda, proporcionar un primer valor de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva; y

- combinar los primeros valores de estimación ( $\alpha_i(n)$ ) para obtener un primer valor de estimación combinado ( $r_1(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo;

## ES 2 303 043 T3

- para cada rueda ( $i=FL,FR,RL,RR$ ) del vehículo, proporcionar un segundo valor de estimación ( $\beta_i(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno bajo la rueda respectiva; y

5 - combinar los segundos valores de estimación ( $\beta_i(n)$ ) para obtener un segundo valor de estimación combinado ( $r_2(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo,

- combinar los primeros y los segundos valores de estimación combinados ( $r_1(n), r_2(n)$ ) para obtener un valor de estimación combinado ( $\Omega(n)$ ) indicativo de las condiciones de la carretera bajo el vehículo; y

10 - determinar valores de cambio de señal ( $CUSUMCounter(n)$ ) basándose en los valores de estimación combinados ( $\Omega(n)$ ) procedentes de la sección de combinación de salida (22) según la siguiente relación:

$$15 \quad CUSUMCounter(n+1) = \min(\max(CUSUMCounter(n) + \Omega(n) - Drift, 0), CounterLimit),$$

en la que *Drift* y *CounterLimit* son parámetros de ajuste.

20 34. El procedimiento de las reivindicaciones 32 ó 33, que además comprende las etapas de la reivindicación 26.

25 35. Un programa informático que incluye código de programa para llevar a cabo un procedimiento, cuando se ejecuta en un sistema de procesamiento, de estimación de las condiciones del terreno bajo un vehículo en marcha, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- detectar una señal de velocidad de rueda ( $t(n), \omega(n)$ ) por medio de un sensor de velocidad de rueda (4) que es indicativa de la velocidad de la rueda de una rueda del vehículo que marcha sobre el terreno (2, 3); y

30 - estimar una señal de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ) a partir de la señal de velocidad de rueda ( $t(n)$ ) que es indicativa de la imperfección del sensor del sensor de velocidad de rueda (4);

35 - determinar una señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ) a partir de la señal de velocidad de rueda ( $t(n)$ ) y la señal de imperfección del sensor ( $\hat{\delta}_1$ ); y

- estimar un primer valor de estimación ( $r(n), \alpha(n)$ ) indicativo de las condiciones del terreno a partir de la señal del sensor con imperfección corregida ( $\varepsilon(n)$ ).

40

45

50

55

60

65

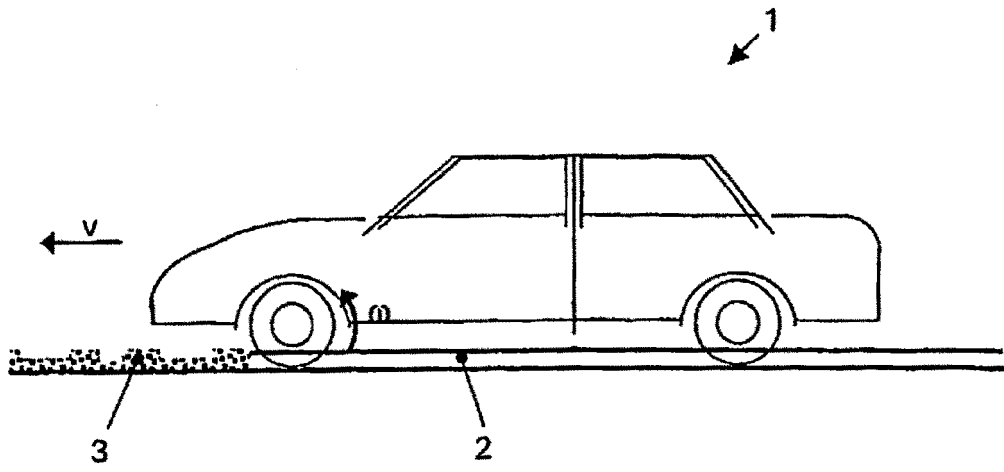


Fig. 1

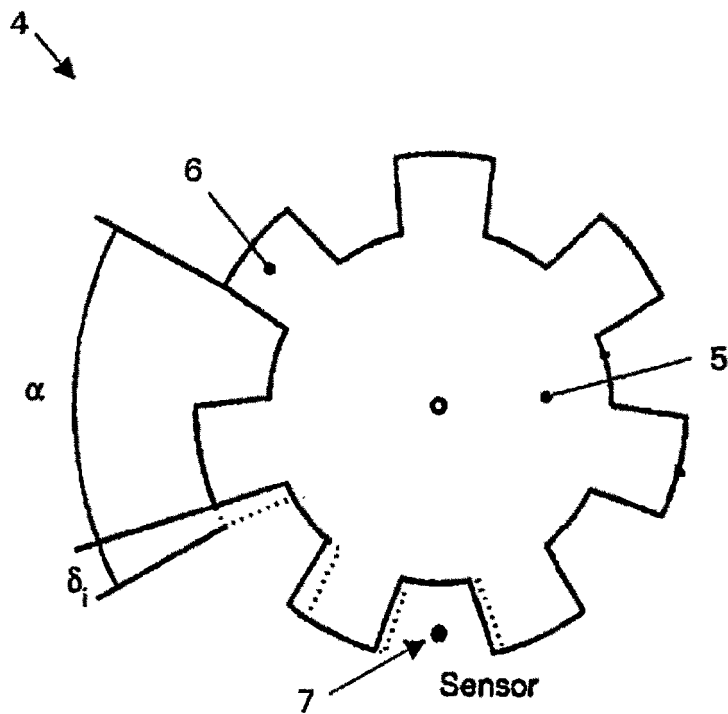


Fig. 2

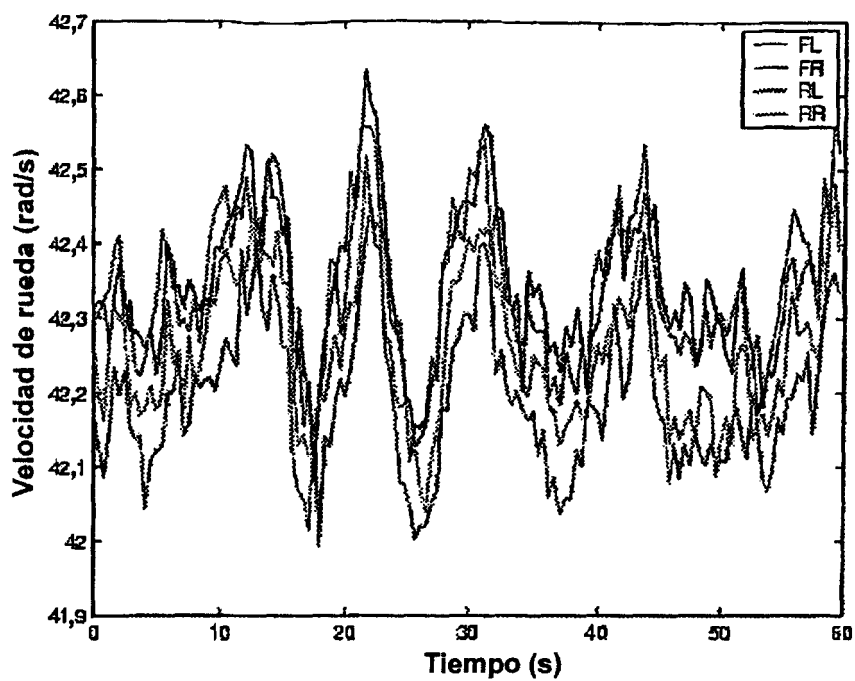


Fig. 3

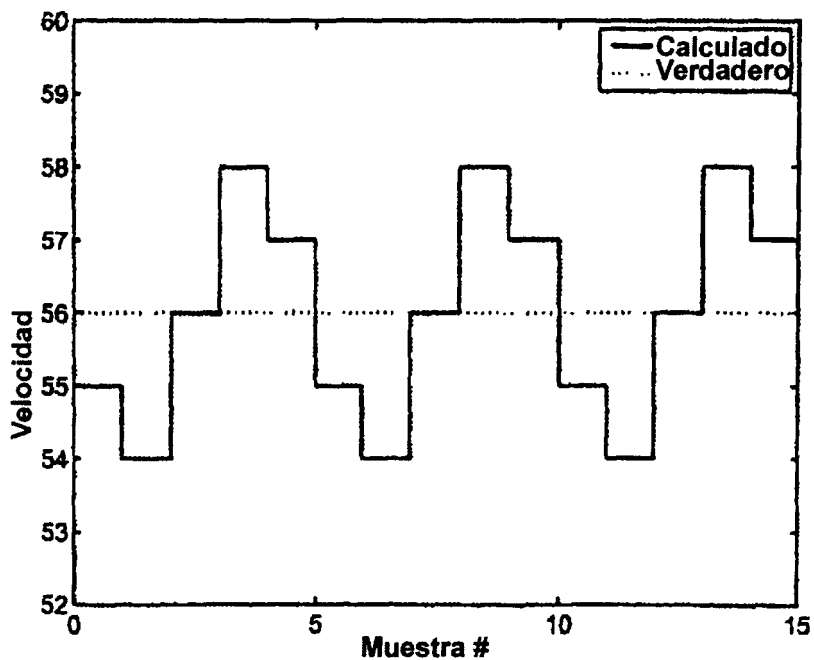


Fig. 4

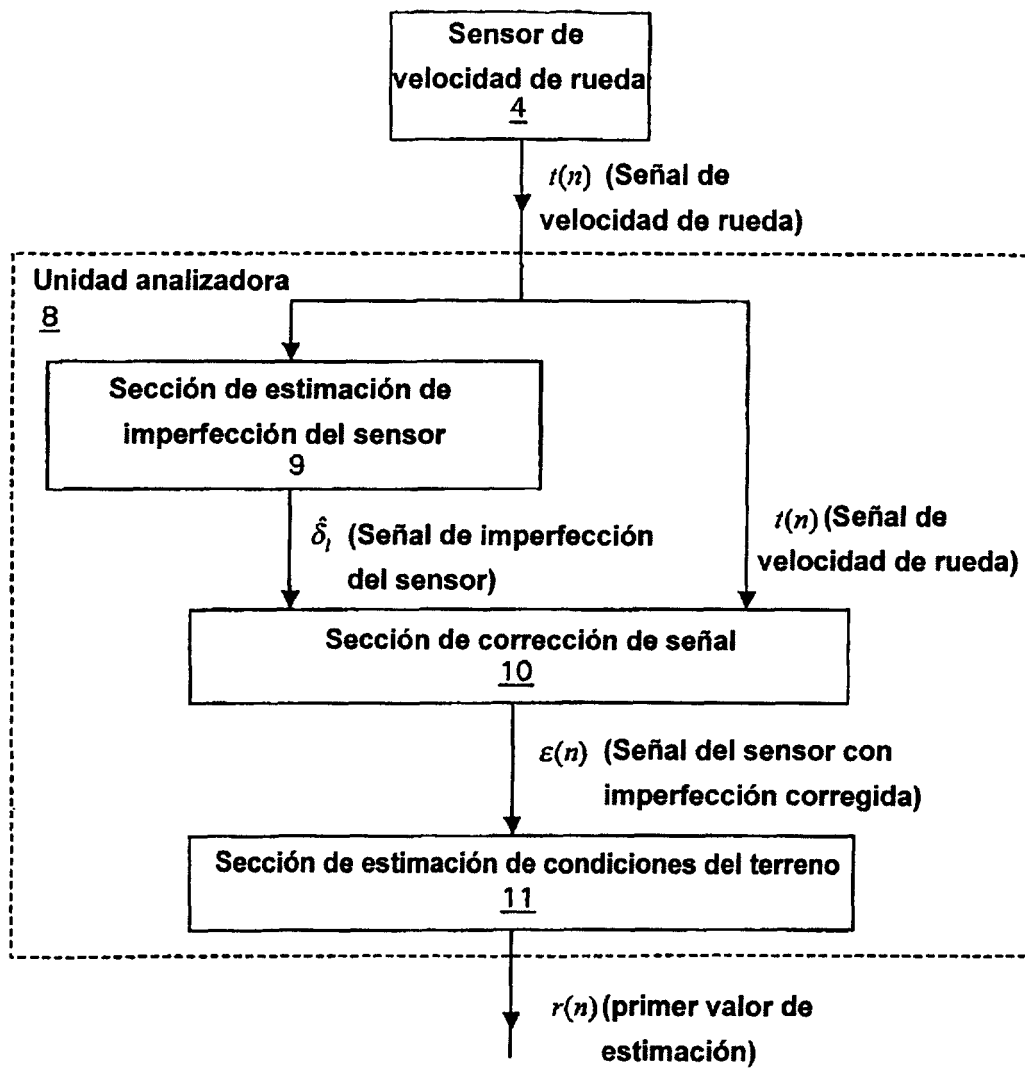


Fig. 5

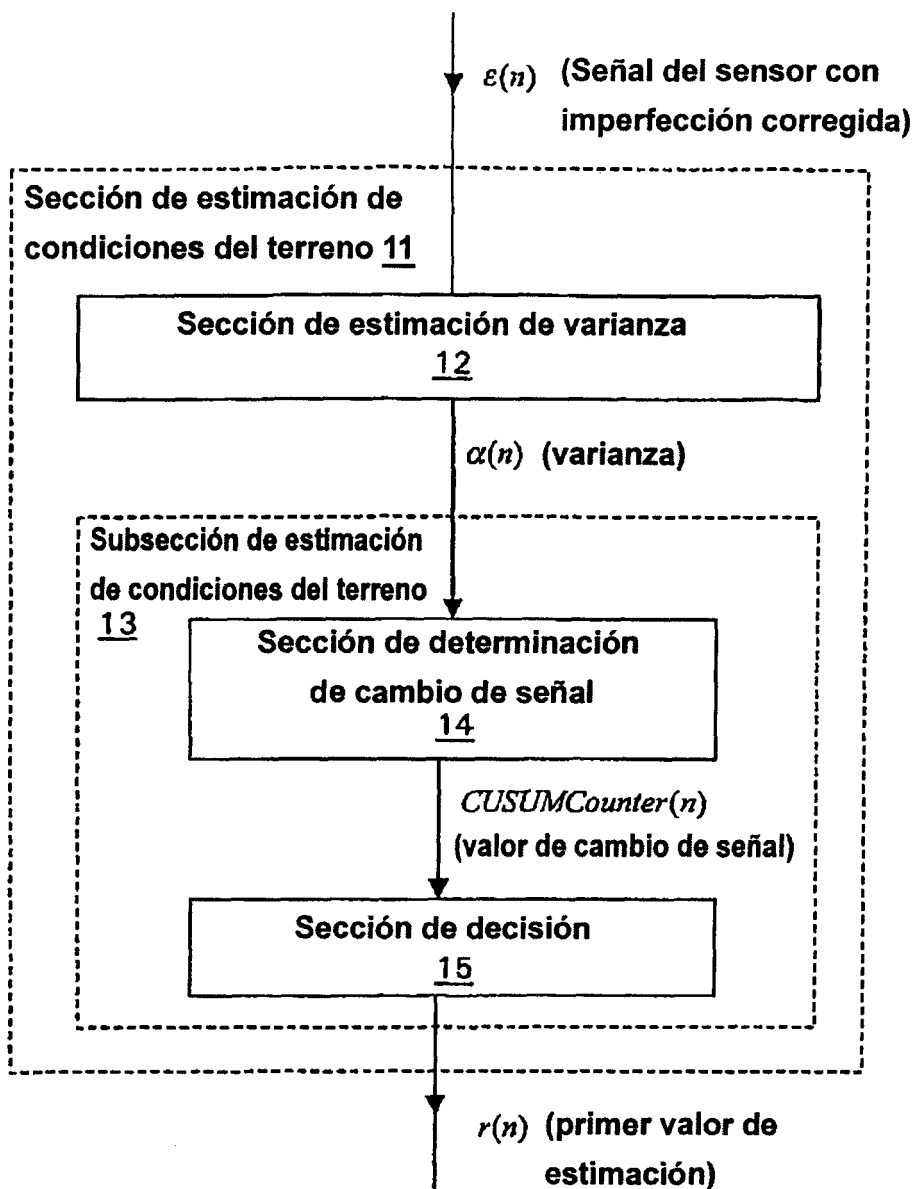


Fig. 6

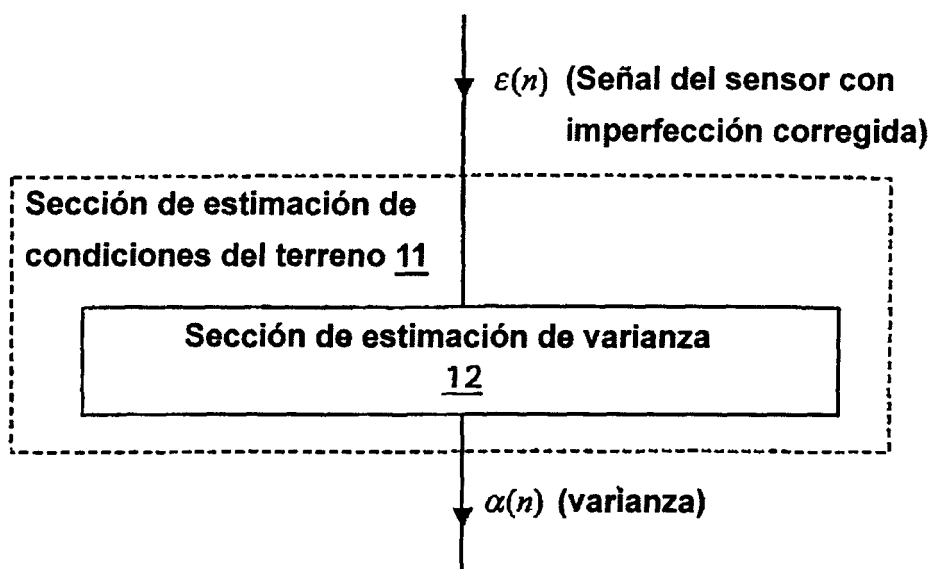


Fig. 7

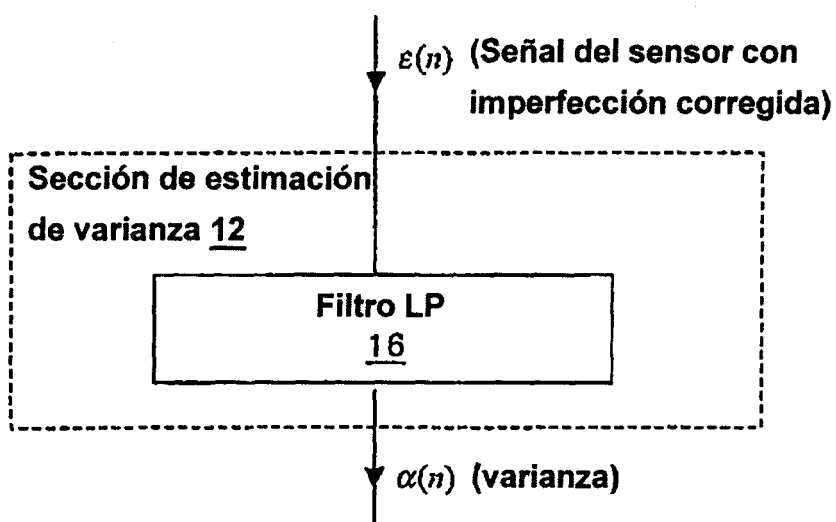


Fig. 8

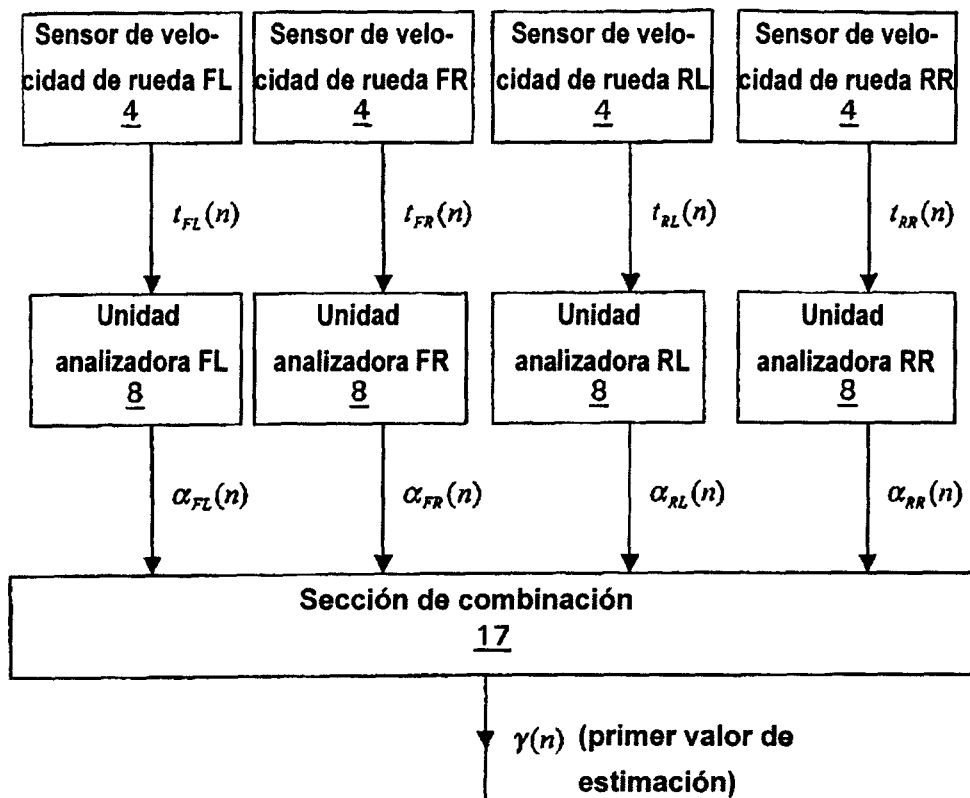


Fig. 9

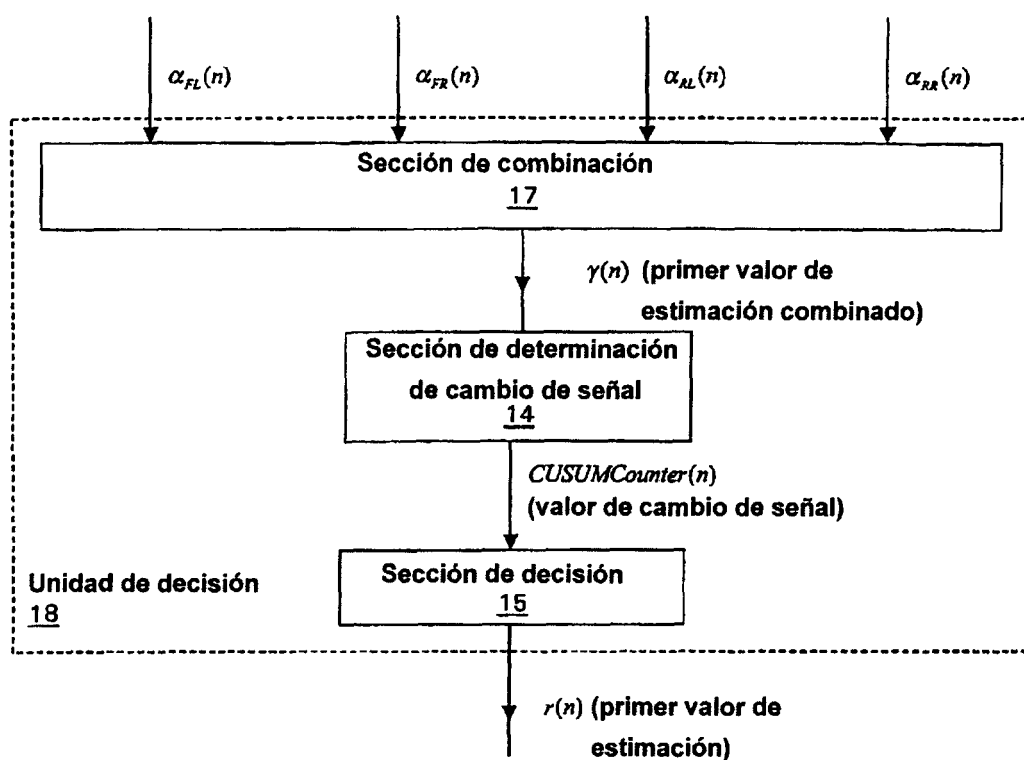


Fig. 10

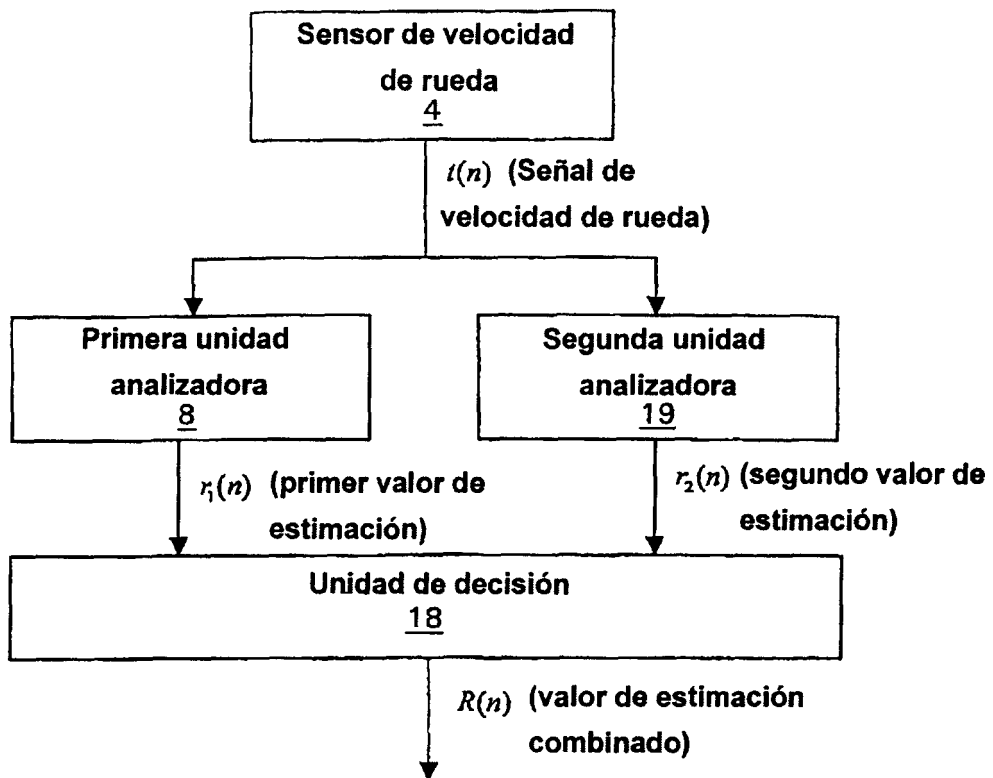


Fig. 11

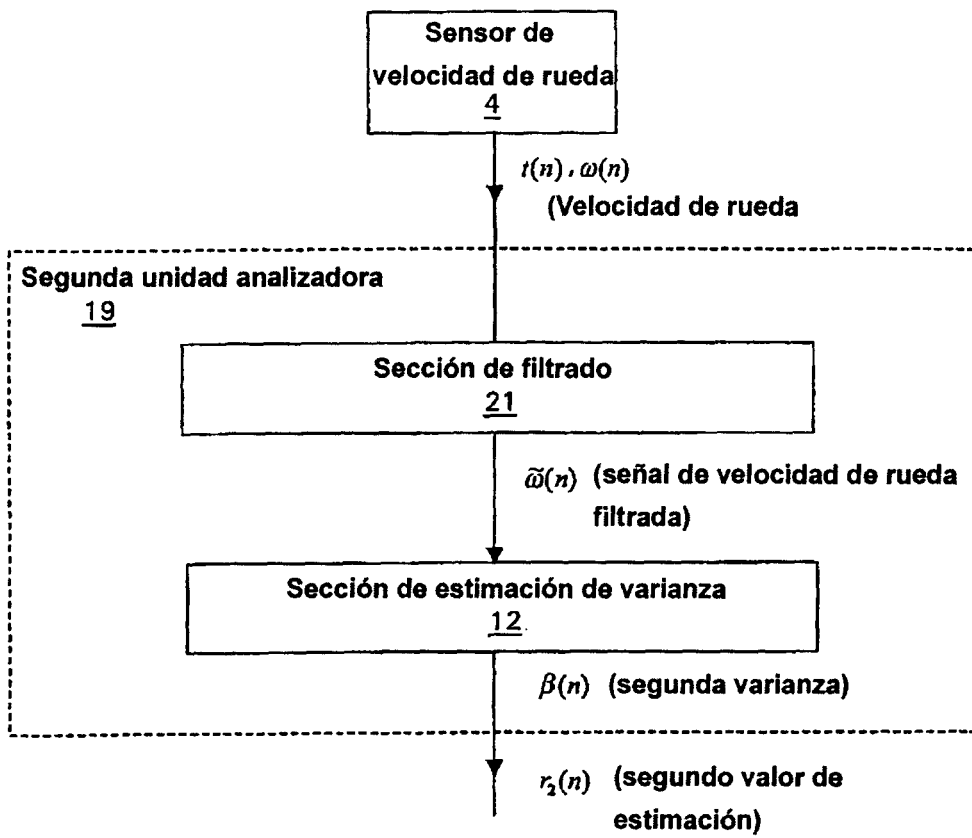


Fig. 12

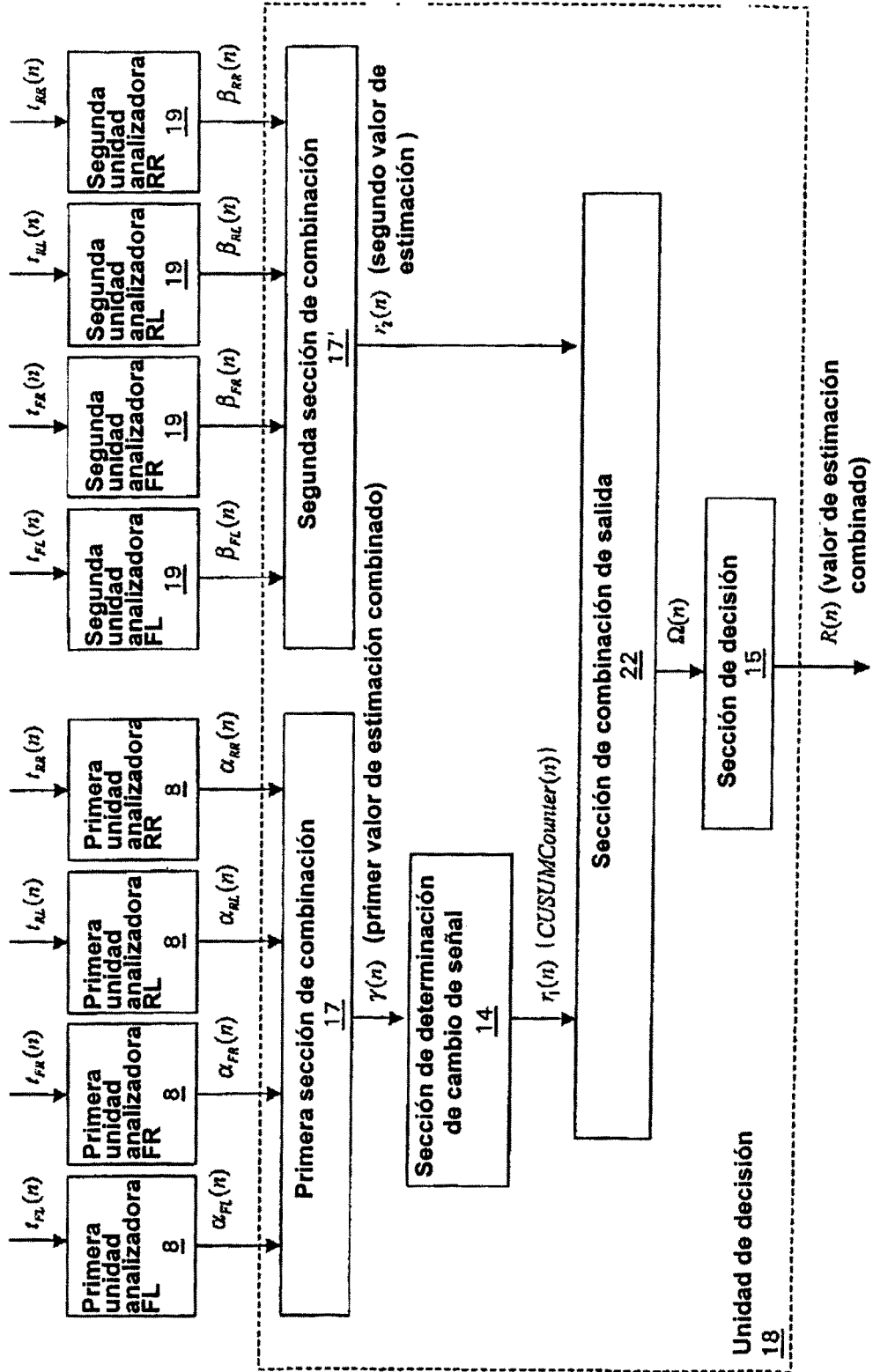
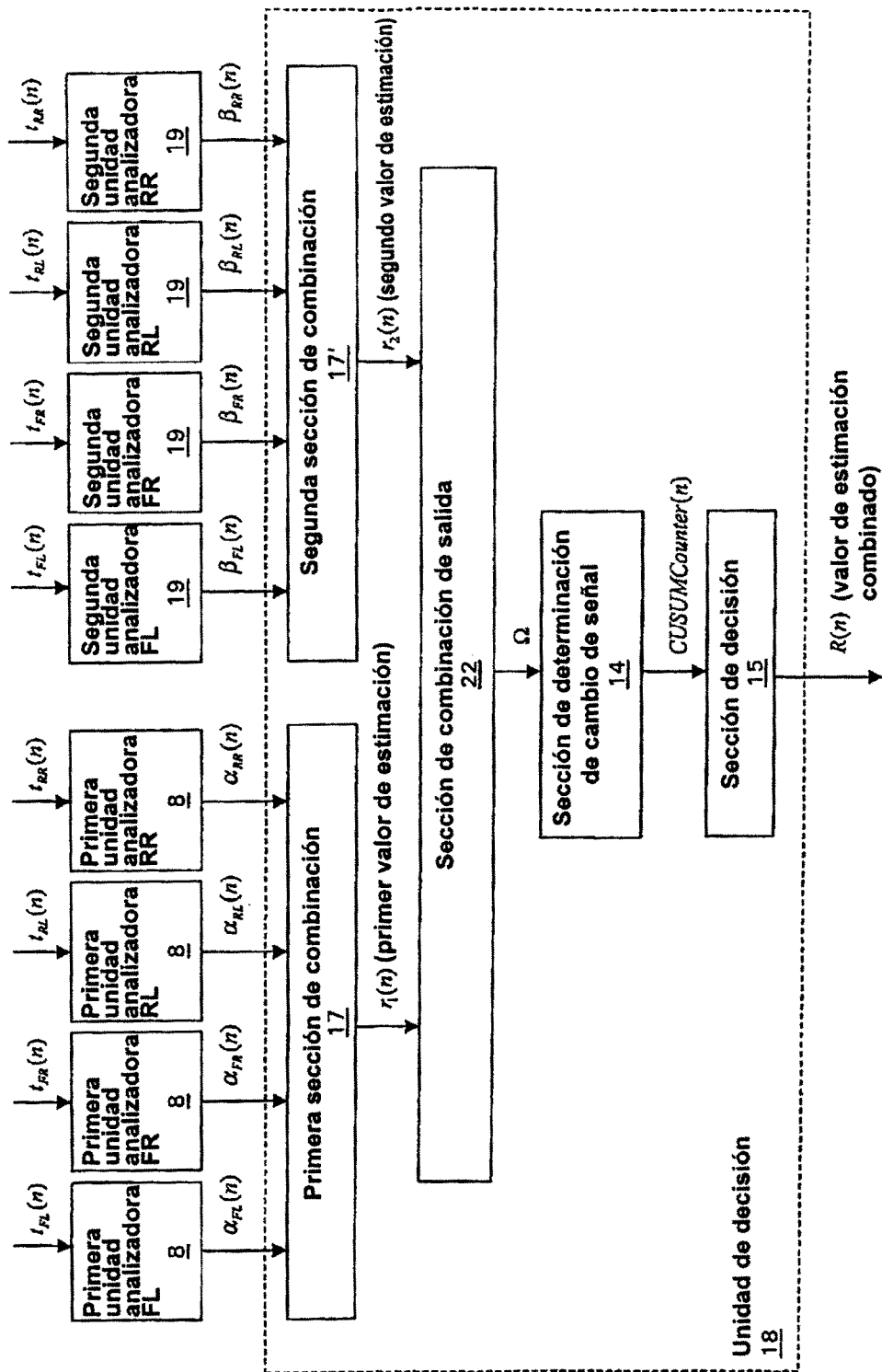


Fig. 13



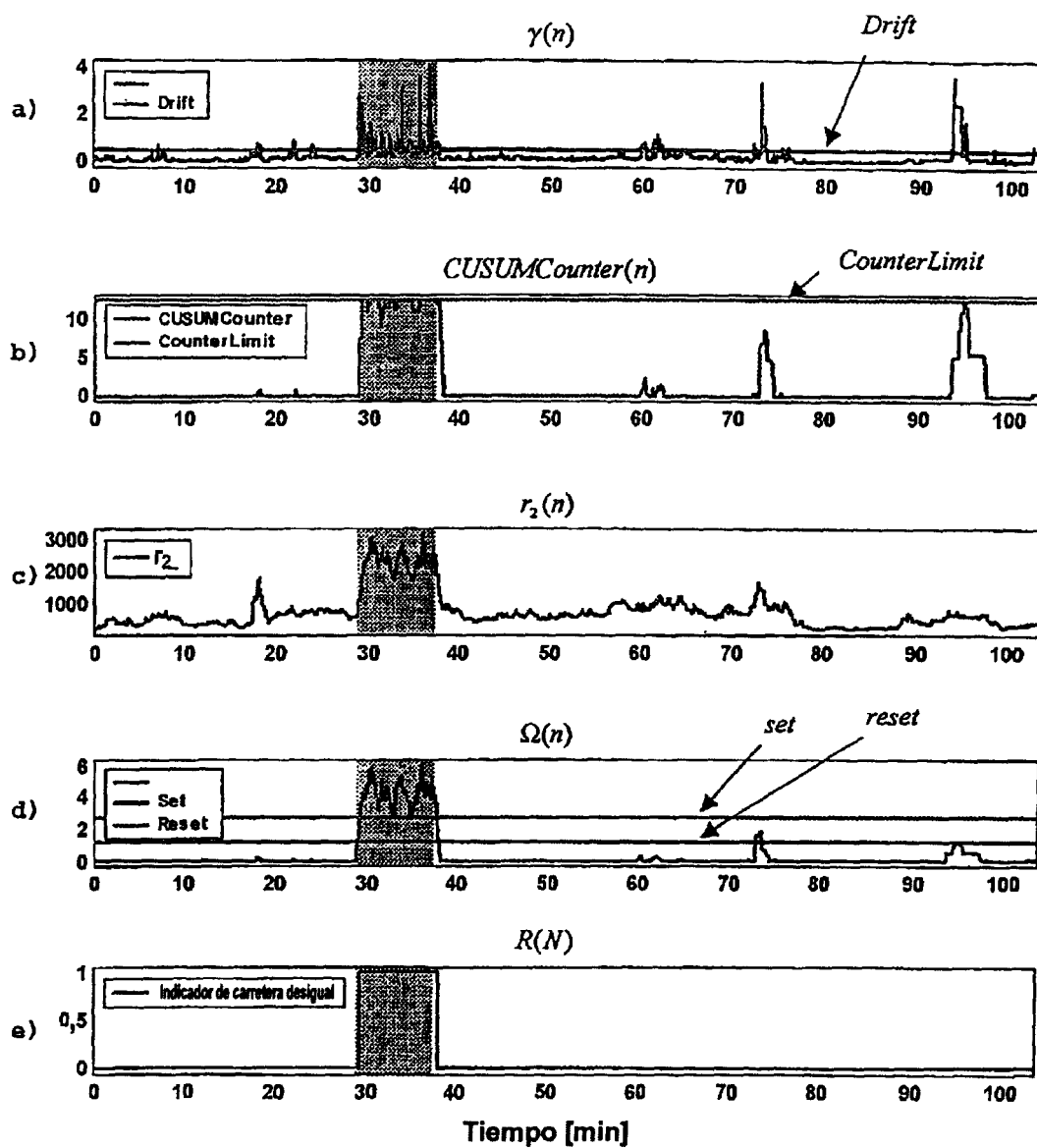


Fig. 15