

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 447 368**

51 Int. Cl.:

G01P 3/50 (2006.01)

G01P 21/00 (2006.01)

B60W 40/10 (2012.01)

G01P 15/00 (2006.01)

B60T 8/174 (2006.01)

B60T 8/172 (2006.01)

B60T 8/1755 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2009 E 09013831 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2014 EP 2187223**

54 Título: **Sistema y método para compensación de señales de sensores en vehículos**

30 Prioridad:

14.11.2008 US 271490

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

11.03.2014

73 Titular/es:

**ROBERT BOSCH GMBH (100.0%)
70442 Stuttgart , DE**

72 Inventor/es:

**WU, HSIENCHENG;
LI, QINGYUAN y
PATIENT, DANIEL**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 447 368 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

Sistema y método para compensación de señales de sensores en vehículos

Antecedentes

5 La presente invención se relaciona con la compensación de señales de un sensor en un sistema de control de estabilidad electrónico ("ESC") o un programa de estabilidad electrónico ("ESP") de un vehículo. Un vehículo que incluye un sistema ESC utiliza varios sensores para estimar un "estado" actual del vehículo. Los sensores del sistema ESC generan y envían información a una unidad de control electrónico ("ECU") de sistema ESC. Los sensores del sistema ESC incluyen, por ejemplo, sensores del ángulo de las ruedas de dirección, sensores de velocidad de viraje, sensores de aceleración lateral, y sensores de la velocidad de las ruedas. El ECU detecta 10 circunstancias que pueden afectar la estabilidad del vehículo o el control del conductor sobre el vehículo. El sistema ESC es capaz de controlar diversos sistemas y funciones dentro del vehículo tales como antibloqueo de frenos, control de tracción, etc. Un algoritmo de control del sistema ESC compara las señales de entrada del conductor a la respuesta del vehículo (por ejemplo, el estado del vehículo según lo determinan los sensores en el ESC).

15 La Patente US 6, 611,781 B1 divulga un método para determinar una variable de velocidad que representa la velocidad de un vehículo. El método aplica tanto una lógica difusa como filtración por medios de un filtro Kalman-Bucy discreto en tiempo.

La solicitud de Patente JP 07 218520 A divulga un dispositivo para calcular la velocidad de un vehículo y una aceleración, comprendiendo este dispositivo una parte de razonamiento difuso.

20 La publicación científica K. Kobayashi et al., "Estimation of Absolute Vehicle Speed using Fuzzy Logic Rule Based Kalman Filter", Proc. Of the American Control Conference, Seattle, Washington, 1995, divulga una técnica de filtración de Kalman con base en una regla difusa para producir una estimación exacta de la velocidad verdadera de un vehículo.

Resumen

25 Los sensores usados por el sistema ESC para corregir defectos y mantener el control y la estabilidad del vehículo pueden ser perturbados o alterados por el ambiente del vehículo. Por ejemplo, los sensores (o, más particularmente, la información que ellos proveen) puede ser perturbada o alterada si el vehículo viaja en pendiente hacia arriba, en pendiente hacia abajo, o en un terreno irregular. Como resultado, los sensores proveen señales a la ECU que no representan con exactitud el estado del vehículo, lo cual puede afectar el rendimiento, estabilidad y seguridad del vehículo.

30 A la luz de las deficiencias antes anotadas de los sistemas ESC, hay necesidad de un sistema y método para compensar las señales de los sensores en cuanto a perturbaciones relacionadas con el ambiente del vehículo.

35 En una realización, el ECU utiliza, en parte, un valor para una velocidad longitudinal absoluta del vehículo para determinar un "estado" del vehículo. La velocidad longitudinal absoluta del vehículo es necesaria para determinar, por ejemplo, cuando el vehículo está derrapando o deslizándose. Sin embargo, el valor de la velocidad longitudinal absoluta del vehículo puede ser perturbado si el vehículo está viajando en pendiente hacia arriba, pendiente hacia abajo o en un terreno irregular, y la velocidad media del vehículo a partir de los sensores de velocidad de las ruedas puede no reflejar la velocidad longitudinal absoluta del vehículo. El sistema ESC también puede incluir un sensor de aceleración para medir la aceleración longitudinal del vehículo. Al igual que la velocidad longitudinal del vehículo, la aceleración longitudinal del vehículo puede ser alterada por el ambiente del vehículo. Una compensación del sensor 40 de aceleración longitudinal se estima y usa para compensar las señales de entrada del sensor al sistema ESC.

45 Para estimar con exactitud la compensación del sensor de aceleración longitudinal y la velocidad longitudinal absoluta del vehículo, el sistema utiliza una pluralidad de señales de velocidad de ruedas provenientes de los sensores de velocidad de ruedas, el sensor de aceleración longitudinal, un módulo lógico difuso, y un módulo de filtro Kalman. Los sensores de velocidad de ruedas proveen señales representativas de la velocidad de las ruedas del vehículo. Las señales de velocidad de las ruedas son procesadas y luego provistas a la unidad lógica difusa en combinación con la primera y segunda derivadas de cada una de las señales de velocidad de las ruedas (por ejemplo 50 aceleración de las ruedas y señales de sacudida de las ruedas). La unidad lógica difusa utiliza las señales para determinar una probabilidad de estabilidad de las ruedas para cada una de las ruedas y calcular una pluralidad de coeficientes de ganancia del filtro Kalman. Las probabilidades de estabilidad de la rueda y los coeficientes de ganancia del filtro Kalman son enviados al módulo de filtro Kalman el cual estima la compensación del sensor de aceleración y la velocidad longitudinal absoluta para el vehículo. La compensación del sensor de aceleración es combinada con una señal del sensor de aceleración alterada para generar una señal del sensor de aceleración

compensada. La señal del sensor de aceleración compensada y la velocidad longitudinal absoluta estimada del vehículo son enviadas al ECU del sistema ESC.

La invención provee un sistema y un método para compensar las señales del sensor de acuerdo con las reivindicaciones independientes 1 y 6.

- 5 Otros aspectos de la invención serán evidentes por consideración de la descripción detallada y los dibujos acompañantes.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra un vehículo que incluye un sistema de control de estabilidad electrónico (ESC”).

La figura 2 ilustra un sistema para compensar señales del sensor.

- 10 La figura 3 ilustra una unidad lógica difusa de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 4 ilustra un diagrama de estado para un sistema de compensación de señales del sensor.

La figura 5A es un diagrama de una gráfica difusa para una variable difusa “pequeña”.

La figura 5B es un diagrama de una gráfica difusa para una variable difusa “la más pequeña”.

- 15 La figura 5C es un diagrama de una gráfica difusa asociada con una distancia relativa entre dos valores de sacudida de ruedas.

La figura 5D es un diagrama de una gráfica difusa para una variable difusa “pequeña”.

La figura 5E es un diagrama de una gráfica difusa para una variable difusa “cercana”.

La figura 5F es un diagrama de una gráfica difusa para una variable difusa “cercana”.

La figura 5G es un diagrama de una gráfica difusa para una variable difusa “la más cercana”.

- 20 La figura 5H es un diagrama de una gráfica difusa asociada con una distancia relativa entre dos valores de velocidad de ruedas.

Descripción detallada

- 25 Antes que cualquier realización de la invención sea explicada en detalle, debe entenderse que la invención no está limitada en su aplicación a los detalles de construcción y a la disposición de los componentes definidos en la siguiente descripción o ilustrados en los siguientes dibujos. La invención es capaz de tener otras realizaciones y de ser puesta en práctica o de ser llevada a cabo de diversas maneras.

- 30 La figura 1 ilustra un vehículo 10 que incluye un módulo de control de estabilidad electrónico (“ESC”) 15, una pluralidad de sensores 20, una pluralidad de actuadores 25. La pluralidad de sensores 20 incluye sensores para detectar una variedad de condiciones del vehículo 10, tales como, por ejemplo, velocidad de ruedas, aceleración, deriva, etc. En la realización ilustrada, los accionadores 25 son, por ejemplo, bombas hidráulicas que aplican presión a los frenos en un sistema de frenado. Los sensores 20 detectan, entre otras cosas, la presión aplicada a los frenos por las bombas hidráulicas, velocidad de las ruedas y aceleración longitudinal. En otras realizaciones de la invención, pueden usarse subsistemas, sensores y accionadores de ESC adicionales o diferentes.

- 35 El módulo 15 de ESC utiliza información del sensor para determinar las acciones que deben tomarse para mantener o mejorar el rendimiento, estabilidad y seguridad del vehículo 10. Sin embargo, los sensores 20 acoplados al módulo 15 de ESC están sujetos a errores y/o ruidos. Por ejemplo, el módulo 15 de ESC requiere una estimación o cálculo exacto de la velocidad longitudinal absoluta del vehículo 10. La velocidad longitudinal absoluta del vehículo 10 no siempre es equivalente a la velocidad de las ruedas (por ejemplo, cuando las ruedas están derrapando o deslizándose), lo cual puede dar como resultado errores en las determinaciones hechas por el módulo 15 de ESC. El ruido blanco y las fluctuaciones de potencia del sensor también pueden introducir errores adicionales en las determinaciones hechas por el módulo 15 de ESC las cuales deben ser compensadas.
- 40

La figura 2 ilustra un sistema 100 de compensación de señales del sensor. El sistema 100 de compensación de señales del sensor incluye un combinador 105, un primer sensor 110, un segundo sensor 115, una unidad 120 de lógica difusa y un módulo 125 de filtro de Kalman. El primer sensor 110 es, en una realización, un sensor de aceleración longitudinal. En una realización, el sensor 110 de aceleración está configurado para generar una señal representativa de una aceleración longitudinal del vehículo. En algunas realizaciones, si el vehículo 10 viaja sobre un suelo a nivel (esto es inclinación cero), el sensor de aceleración genera un valor igual a cero. Si el vehículo 10 viaja sobre un suelo que incluye una inclinación (por ejemplo una inclinación del 20%), el sensor de aceleración genera una señal que no es igual a cero.

La aceleración global del vehículo es una sumatoria de un vector de aceleración vertical, un vector de aceleración longitudinal y un vector de aceleración lateral. Para propósitos de descripción, la aceleración del vehículo se describe aquí con respecto al componente de aceleración longitudinal. Sin embargo, el sistema 100 de compensación de señal del sensor puede ser aplicado a los componentes vectoriales o condiciones del vehículo 10. Como se describió anteriormente, cuando el vehículo 10 está sobre un suelo nivelado (esto es, sin inclinación), la compensación del sensor de aceleración longitudinal es igual a cero. Si el vehículo 10 está inclinado, la aceleración longitudinal medida por el sensor 110 de aceleración longitudinal es una suma vectorial de dos componentes, uno normal a la inclinación y uno paralelo a la inclinación. La compensación que el sensor de aceleración experimenta es aproximadamente igual a la aceleración debida a la gravedad multiplicada por el seno de la inclinación (en grados o radianes). Por ejemplo, una inclinación del 20% es aproximadamente igual a una inclinación del 18°. Una inclinación del 18% da como resultado una compensación del sensor de aceleración estimada aproximadamente igual a la mostrada más adelante, donde $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

$$(g) \cdot \sin(18^\circ) = 3.03 \frac{m}{s^2}$$

Puede hacerse una estimación similar para un vehículo 10 que viaja sobre un terreno con un 20% de inclinación, pero el ángulo de la inclinación es de aproximadamente igual a -18° y la compensación del sensor de aceleración es, por lo tanto, una negación de la instancia de inclinación de 18° . La compensación del sensor de aceleración está relacionada con el componente de aceleración del vehículo que está en paralelo a la inclinación.

El segundo sensor 115 es un sensor de velocidad de ruedas, el cual provee señales de velocidad de ruedas relacionadas con una rueda del vehículo. Los sensores de velocidad de ruedas pueden utilizarse para proveer señales de velocidad de ruedas para cada una de las ruedas del vehículo 10 (por ejemplo, cada una de las cuatro ruedas). Las señales de velocidad de ruedas del segundo sensor 115 son procesadas por un módulo de software (no mostrado) y luego enviadas a la unidad de lógica difusa. El módulo de software recibe las señales de velocidad de ruedas para cada una de las ruedas del vehículo 10 y calcula las señales de aceleración de ruedas tomando una primera derivada de las señales de velocidad de ruedas y de las señales de sacudida de las ruedas tomando una segunda derivada de las señales de velocidad de las ruedas. El módulo de software genera las señales de velocidad de ruedas para cada rueda del vehículo 10, las señales de aceleración para cada rueda, y las señales de sacudida de rueda para cada rueda hacia la unidad 120 de lógica difusa.

La unidad 120 de lógica difusa recibe las señales de velocidad de las ruedas, las señales de aceleración de las ruedas y las señales de sacudida de las ruedas con relación a cada una de las ruedas del vehículo 10. La unidad 120 de lógica difusa utiliza las señales para calcular una probabilidad de estabilidad de rueda para cada rueda del vehículo 10. Un conjunto de probabilidades de estabilidad de ruedas es generado hacia el módulo de filtro Kalman. La probabilidad de estabilidad de la rueda es una variable que corresponde a una confiabilidad estimada de las señales recibidas para cada rueda. En otras palabras, la probabilidad de estabilidad de la rueda es un cálculo de la probabilidad de que una señal de velocidad de rueda sea adecuada para ser utilizada para ser estimar la velocidad longitudinal absoluta del vehículo 10. Los valores de las probabilidades difusas dependen de, entre otras cosas, la estabilidad de las señales del sensor, una estimación de incertidumbre, y la situación de conducción del vehículo 10, tal como se describe más adelante.

La figura 3 ilustra la unidad 120 de lógica difusa. La unidad 120 de lógica difusa incluye un módulo 200 de conjuntos difusos adaptables de alta prioridad, un módulo 205 de conjuntos difusos adaptables de baja prioridad, un módulo 210 de situación de conducción, un módulo 215 de filtración no lineal, un módulo 220 de operaciones difusas, un módulo 225 de estimación de incertidumbre y un módulo 230 de ganancia de filtro. El módulo 200 de conjuntos difusos de alta prioridad recibe señales de entrada (por ejemplo, señales de velocidad de las ruedas, las señales de aceleración de las ruedas, y las señales de sacudida de ruedas) las cuales se utilizan para analizar la estabilidad de las ruedas. El módulo 200 de conjuntos difusos de alta prioridad utiliza las señales de entrada para generar conjuntos difusos fuertes de alta fidelidad. Los conjuntos difusos fuertes son los conjuntos difusos que tienen el mayor impacto sobre el análisis de la estabilidad de las ruedas.

El módulo 205 de conjuntos difusos de baja prioridad recibe señales de entrada tales como la señal de aceleración de las ruedas, una señal de error de modelo estimado y una señal de aceleración del vehículo con base en modelo.

5 La señal de aceleración del vehículo con base en el modelo es una representación de la aceleración del vehículo sobre el terreno la cual se basa en señales relacionadas con, por ejemplo, el torque del motor y las presiones en las ruedas. La señal de error de modelo estimado representa una derivación estimada a partir de la aceleración del vehículo basada en modelo. El módulo 205 de conjuntos difusos de baja prioridad usa estas señales de entrada para generar conjuntos difusos de baja prioridad que son utilizados en combinación con los conjuntos difusos de alta prioridad generados por el módulo de conjuntos difusos de alta prioridad.

10 El módulo 215 de filtración no lineal está configurado para asociar un peso o la importancia de cada señal de entrada (por ejemplo, la aceleración en las ruedas, la sacudida de las ruedas, etc.) del módulo de conjuntos difusos de alta prioridad, y el módulo 210 de situación de conducción está configurado para identificar el estado de conducción del vehículo. Por ejemplo, en una realización, el módulo 210 de situación de conducción está configurado para identificar si la situación de conducción del vehículo 10 es (1) aceleración, (2) desaceleración, o (3) desconocida.

15 El módulo 225 de estimación de la incertidumbre provee una señal al módulo 220 de operaciones difusas relacionados con la incertidumbre de la probabilidad de estabilidad de una rueda durante un periodo extendido de tiempo, lo que permite que el sistema 100 de compensación de señal del sensor compense señales de velocidad de rueda anómalas o altamente inestables. Por ejemplo, si las señales recibidas de los sensores de velocidad de las ruedas demuestran un alto grado de no confiabilidad, el módulo 220 de operaciones difusas utiliza la señal de estimación de incertidumbre para determinar las probabilidades de estabilidad de la rueda en lugar de las señales de velocidad de la rueda. La confiabilidad y la inestabilidad de las señales de velocidad de las ruedas se describen en detalle más adelante con respecto a las operaciones llevadas a cabo por el módulo de operaciones difusas para una realización de la invención.

25 El módulo 220 de operaciones difusas utiliza los conjuntos difusos de alta prioridad sopesados, los conjuntos difusos de baja prioridad, la señal de estimación de incertidumbre y una señal de situación de conducción para calcular las probabilidades de estabilidad de la rueda para cada rueda. Ejemplos de operaciones difusas (esto es, pruebas de lógica difusa) utilizadas para determinar las probabilidades de estabilidad de la rueda se dan y describen más adelante. Por ejemplo, las señales de velocidad de rueda inestables tienen un valor absoluto alto de sacudida de rueda (esto es, la segunda derivada de la señal de velocidad de rueda). Un ejemplo de una prueba difusa que se ejecuta en el módulo de operaciones difusas para determinar si el valor absoluto de la sacudida de rueda es grande se da más adelante como Prueba # 1.

30 Prueba # 1

Valor absoluto de sacudida pequeña de rueda

[1]

AND valor absoluto más pequeño de sacudida de rueda

[2]

35 OR distancia entre valor absoluto más pequeño y más grande de sacudida pequeña de rueda [3]

Como ejemplo ilustrativo, asúmase que los valores de sacudida de ruedas para cada una de las ruedas del vehículo 10 son aquellos dados en la Tabla # 1.

Tabla # 1: Valores de sacudida de rueda

40	1.	Rueda frontal izquierda [m/s ³]	7
	2.	Rueda frontal derecha [m/s ³]	30
	3.	Rueda trasera izquierda [m/s ³]	100
	4.	Rueda trasera derecha [m/s ³]	200

45 Un valor lingüístico para la línea 1 de la Prueba # 1 se determina utilizando la figura 5A, la cual muestra una gráfica difusa para la variable difusa "pequeña". K_{x1} y K_{x2} son valores predeterminados que se basan en características del

vehículo y características del módulo 15 de ESC. El valor lingüístico para la línea 1 de la Prueba # 1 se determina para cada rueda del vehículo 10 asociando el valor de la sacudida de rueda para cada rueda con un valor de la gráfica difusa para el operador “pequeño”. Una sacudida de rueda de entre 0 y 15 m/s³ tiene un valor de 1.000. Una sacudida de rueda de 150 m/s³ o mayor tiene un valor de aproximadamente 0.000.

5 Los estimados de salida difusos correspondientes para cada rueda del vehículo se dan más adelante en la Tabla # 2. Cada estimado de salida difusa es estimado con tres sitios decimales en esta realización de la invención. Los valores de sacudida de rueda mayores a 150 m/s³ reciben la asignación de un valor de 0.000. Para valores de sacudida de rueda entre 15 y 150 m/s³, el valor lingüístico del estimado de salida difuso se determina utilizando interpolación lineal. La línea 1 de la prueba # 1 se utiliza para determinar el estimado de salida difusa correspondiente a la sacudida de rueda más baja entre las ruedas del vehículo 10. En el ejemplo ilustrado, la salida de la línea 1 de la prueba # 1 es 1.000, la cual corresponde al estimado de salida difuso de la rueda izquierda frontal.

Tabla # 2: Salida difusa de línea 1

1.	Rueda frontal izquierda [m/s ³]	1.000
2.	Rueda frontal derecha [m/s ³]	0.778
15	3. Rueda posterior izquierda [m/s ³]	0.259
	4. Rueda posterior derecha [m/s ³]	0.000

Se determina un valor lingüístico para la línea 2 de la Prueba # 1 utilizando la figura 5B, la cual muestra una gráfica difusa para la variable difusa “más pequeña”. K_{x1} y K_{y1} son valores predeterminados que se basan en características del vehículo y características del módulo 15 de ESC. En la realización ilustrada K_{x1} es igual a 0.936 y K_{y1} es igual a 0.1. El valor lingüístico de la línea 2 de la Prueba # 1 se determina para cada rueda del vehículo asociando el valor absoluto de sacudida de rueda para cada rueda con un valor de la gráfica difusa para la variable difusa “más pequeña”.

El valor absoluto más pequeño de la sacudida de rueda recibe la asignación de un estimado de salida difusa de 1.000, y el valor absoluto más grande de la sacudida de rueda recibe la asignación de un estimado de salida difuso de 0.000. La gráfica del operador difuso “más pequeño” incluye dos líneas en diferentes pendientes que se intersectan en el punto (K_{x1} (MAX (x) –MIN (x)), K_{y1}). Los estimados de salida difusa correspondientes para cada rueda de vehículo se dan más abajo en la Tabla # 3.

Tabla # 3: Salida difusa de línea 2

1.	Rueda izquierda frontal [m/s ³]	1.000
30	2. Rueda derecha frontal [m/s ³]	0.880
	3. Rueda izquierda posterior [m/s ³]	0.416
	4. Rueda derecha posterior [m/s ³]	0.000

Un valor lingüístico para la línea 3 de la Prueba # 1 se determina utilizando la figura 5C, la cual muestra una gráfica difusa asociada con la distancia relativa entre dos valores de sacudida de rueda. K_{x1} y K_{x2} son valores predeterminados que se basan en características del vehículo y características del módulo 15 de ESC. El valor lingüístico para la línea 3 de la Prueba # 1 se determina para cada rueda del vehículo utilizado la diferencia entre el valor más grande de sacudida de rueda y el valor más pequeño de sacudida de rueda. En la realización ilustrada, la diferencia entre el valor más grande de sacudida de rueda y el valor más bajo de sacudida de rueda se da como

$$200 \frac{m}{s^3} - 7 \frac{m}{s^3} = 193 \frac{m}{s^3}$$

40 El valor generado difuso correspondiente es 0.044 para cada una de las ruedas del vehículo. Los estimados de resultado difuso para las líneas 1, 2 y 3 para la Prueba # 1 se combinan entonces de acuerdo con los operadores difusos de la Prueba #1. El operador difuso “OR” se da como

$$y_1 = OR(x_1, x_2)$$

$$y_1 = \gamma_1 \cdot MAX(x_1, x_2) + (1 - \gamma_1) \cdot \frac{x_1 + x_2}{2}$$

Para la realización ilustrada de la Prueba # 1, $\gamma_1 = 0.95$, $x_1 = 1.000$ (estimado de resultado difuso de la línea 2 para la rueda izquierda frontal), y $x_2 = 0.044$ (estimado de resultado difuso de la línea 3). El valor de y_1 se calcula como 0.976 y se convierte en la entrada x_2 de la operación "AND". La variable difusa "AND" se da como

$$y_2 = AND(x_1, x_2)$$

$$y_2 = \gamma_2 \cdot MIN(x_1, x_2) + (1 - \gamma_2) \cdot \frac{x_1 + x_2}{2}$$

5 Para la realización ilustrada de la Prueba # 1, $\gamma_2 = 0.8$, $x_1 = 1.000$ (resultado difuso de la línea 1 para la rueda izquierda frontal), y $x_2 = 0.976$ (resultado de la operación OR). El valor de y_2 se calcula como 0.977. Pueden llevarse a cabo cálculos similares para cada una de las ruedas del vehículo. Los resultados de la prueba # 1 para cada rueda del vehículo se dan más adelante en la Tabla # 4. Cuanto más cercano sea el resultado de la Prueba # 1 a un valor de 1.000, mayor es la confiabilidad de las señales de velocidad de la rueda.

Tabla # 4: Resultados de la Prueba # 1

1.	Rueda izquierda frontal	0.977
2.	Rueda derecha frontal	0.786
3.	Rueda izquierda posterior	0.274
4.	Rueda derecha posterior	0.004

Con base en la Prueba # 1, la rueda frontal izquierda es la más confiable (esto es la más cercana a 1.000), la rueda derecha frontal es la segunda más confiable, la rueda izquierda posterior es la tercera más confiable y la rueda derecha posterior es la menos confiable. Por lo tanto, con base en la Prueba # 1, la rueda izquierda frontal provee las señales de velocidad de rueda más adecuadas para ser utilizadas con el fin de calcular una compensación del sensor de aceleración.

Las ruedas inestables también tienen un valor absoluto grande de aceleración de rueda. Una prueba difusa para determinar si el valor absoluto de aceleración de rueda es grande se da más adelante como Prueba # 2.

Prueba # 2:

Valor absoluto de aceleración de rueda pequeño [1]

La Prueba # 2 puede ser evaluada de manera similar como la Prueba # 1 anterior. Un valor lingüístico para la línea 1 de la Prueba # 2 se determina utilizando la figura 5D la cual muestra una gráfica difusa para la variable difusa "pequeña". K_{x1} y K_{x2} son valores predeterminados que se basan en características del vehículo y características del módulo 15 de ESC. En la realización descrita, $K_{x1} = 4.2 \text{ m/s}^2$ y $K_{x2} = 6.0 \text{ m/s}^2$. El valor lingüístico para la línea 1 de la Prueba # 2 se determina para cada rueda del vehículo asociando el valor de aceleración de la rueda para cada rueda del vehículo con un valor de la gráfica difusa para la variable difusa "pequeña". Una aceleración de rueda de entre 0.0 y 4.2 m/s^2 tiene un valor de 1.000. Una aceleración de rueda de 6 m/s^2 o mayor tiene un valor de aproximadamente 0.000.

Las señales de rueda inestables también tienen una desviación grande entre la aceleración de la rueda y la aceleración modelo del vehículo. Una prueba difusa para determinar si hay una desviación grande entre la aceleración de la rueda y la aceleración modelo del vehículo se da más adelante como Prueba # 3.

Prueba # 3:

Valor absoluto de aceleración de la rueda cercano a la aceleración modelo del vehículo [1]

La Prueba # 3 puede evaluarse de una manera similar a la Prueba # 2 anterior. Un valor lingüístico para la línea 1 de la Prueba # 3 se determina utilizando la figura 5E, la cual muestra una gráfica difusa para la variable difusa "cercana". K_{x1} y K_{x2} son valores predeterminados que se basan en características del vehículo y características del

- módulo 15 de ESC. En la realización descrita, $K_{x1} = 0.45 \text{ m/s}^2$ y $K_{x2} = 3.0 \text{ m/s}^2$. El valor lingüístico para la línea 1 de la Prueba # 3 se determina para cada rueda del vehículo asociando el valor de la aceleración de la rueda para cada rueda con un valor de la gráfica difusa para la variable difusa “cercana”. Una aceleración de rueda que está dentro de 0.45 m/s^2 de la aceleración modelo del vehículo tiene un estimado de resultado difuso de 1.000. Una aceleración de rueda que es mayor de 0.45 m/s^2 pero menor de 3.0 m/s^2 con respecto a la aceleración modelo del vehículo tiene un estimado de resultado difuso que puede ser determinado utilizando interpolación lineal.
- 5 Una aceleración de rueda que es mayor de 3.0 m/s^2 con respecto a la aceleración modelo del vehículo tiene un estimado de resultado difuso aproximadamente igual a 0.000.
- 10 En contraste, las ruedas estables exhiben una diferencia pequeña entre las señales de velocidad de rueda y la velocidad longitudinal absoluta estimada del vehículo 10. Una prueba difusa para determinar si la diferencia entre la señal de velocidad de rueda y la velocidad longitudinal absoluta estimada del vehículo 10 se da más adelante como Prueba # 4.
- Prueba # 4:
- Velocidad de rueda cercana a velocidad estimada de vehículo
- 15 AND velocidad de rueda más cercana a la velocidad de vehículo estimada
- OR distancia entre la velocidad de rueda pequeña más pequeña y más grande
- La Prueba # 4 puede ser evaluada de manera similar que la Prueba # 1 anterior. Un valor lingüístico para la línea 1 de la Prueba # 4 se determina utilizando la figura 5F la cual muestra una gráfica difusa para la variable difusa “cercana”. K_{x1} y K_{x2} son valores predeterminados que se basan en características del vehículo y características del módulo 15 de ESC. En la realización descrita, $K_{x1} = 0.1 \text{ m/s}^2$ y $K_{x2} = 1.7 \text{ m/s}^2$. El valor lingüístico para la línea 1 de la Prueba # 4 se determina para cada rueda del vehículo asociando el valor de la velocidad de la rueda para cada rueda con un valor de la gráfica difusa para la variable difusa “cercana”. Una velocidad de rueda que es hasta 0.1 m/s^2 de la velocidad estimada del vehículo tiene un estimado de resultado difuso de 1.000. Una velocidad de rueda que es mayor a 0.1 m/s^2 pero menor de 1.7 m/s^2 con respecto a la velocidad estimada del vehículo tiene un estimado de resultado difuso que puede ser determinado utilizando interpolación lineal. Una velocidad de rueda que es mayor a 1.7 m/s^2 con respecto a la velocidad estimada del vehículo tiene un estimado de resultado difuso aproximadamente igual a 0.000.
- 20
- 25
- 30 Un valor lingüístico para la línea 2 de la Prueba # 4 se determina utilizando la figura 5G, la cual muestra una gráfica difusa utilizada para calcular la variable difusa “cercana”. K_{y1} tiene un valor que se basa en las características del vehículo y características del módulo 15 de ESC. K_{y1} tiene un valor que depende de los valores MAX y MIN de las señales de velocidad de rueda. En la realización ilustrada, K_{y1} es igual a 0.2. El valor lingüístico para la línea 2 de la Prueba # 4 se determina para cada rueda del vehículo asociando el valor de la velocidad de rueda para cada rueda con un valor de la gráfica difusa para la variable difusa “más cercana”.
- 35
- 40 Un valor lingüístico para la línea 3 de la Prueba # 4 se determina utilizando la figura 5H, la cual muestra una gráfica difusa asociada con la distancia relativa entre dos valores de velocidad de rueda. K_{x1} y K_{x2} son valores predeterminados que se basan en las características del vehículo y características del módulo 15 de ESC. En la realización descrita, $K_{x1} = 0.1 \text{ m/s}^2$ y $K_{x2} = 0.4 \text{ m/s}^2$. El valor lingüístico para la línea 3 de la Prueba # 4 se determina para cada rueda del vehículo usando la diferencia entre el valor más grande de velocidad del vehículo y el valor más pequeño de velocidad del vehículo,
- 40
- 45 Los resultados para cada prueba difusa 2 – 4 pueden ser calculados de manera similar a la Prueba # 1 anterior utilizando los operadores difusos “AND” y “OR” cuando sea necesario. Con base en la combinación de los resultados de cada prueba, la unidad 120 lógica difusa calcula un conjunto de valores difusos para las señales de velocidad de rueda, señales de aceleración de rueda, y señales de sacudida de rueda asociadas con cada rueda del vehículo 10. El conjunto de valores difusos correspondientes a cada rueda se utiliza entonces para calcular las probabilidades de estabilidad de rueda correspondientes a la estabilidad de las señales del sensor de velocidad de rueda para cada rueda. Las probabilidades de estabilidad de ruedas son generadas individualmente o como un conjunto de valores hacia el módulo 125 de filtro Kalman. En otras realizaciones, se llevan a cabo más o diferentes pruebas difusas y se utiliza para determinar las probabilidades de estabilidad de la rueda.
- 50
- Cuanto mayor sea la cantidad de inestabilidad en una señal de velocidad de rueda respectiva, menor será la probabilidad de estabilidad de rueda para esa rueda. En una realización de la invención, se usa un valor difuso de 128 para indicar inestabilidad cero en una señal de velocidad de rueda. Un valor inferior, tal como 108, indica que las señales del sensor de velocidad de rueda incluyen una cantidad sustancial de inestabilidad.

Alternativamente, un valor difuso puede ser dividido por 128 para producir una representación decimal del valor difuso (por ejemplo $108/128 = 0.8438$).

5 Las Tablas 5 - 8 (mostradas más abajo) demuestran conjuntos reales difusos para cada una de las cuatro ruedas (por ejemplo, frontal derecha, frontal izquierda, posterior derecha, posterior izquierda) de un vehículo de prueba que acelera en una inclinación de 20%. El conjunto difuso o conjunto de valores para cada rueda se muestra incluyendo un conjunto de nueve valores o cálculos. La velocidad de rueda (1) se mide mediante un sensor respectivo de velocidad de rueda para cada rueda. Los valores difusos para la sacudida de rueda (2), aceleración de rueda (3), y velocidad de rueda (5) son determinados mediante el módulo de combinación difuso descrito anteriormente con respecto a la figura 3. La probabilidad de estabilidad de rueda (9) es una representación numérica de la probabilidad de que las señales de velocidad de rueda para cada rueda respectiva sean estables y se calcula dividiendo la suma de las líneas (4) y (7) por el valor que representa la cantidad más pequeña de inestabilidad de señal de velocidad de rueda, 128. Una probabilidad de estabilidad de rueda de aproximadamente 1 indica señales de velocidad de rueda altamente confiables. La confiabilidad de las señales de velocidad de rueda se utiliza en el módulo 230 de ganancia de filtro (descrito más adelante) para seleccionar los coeficientes de ganancia de filtro Kalman.

15 Tabla 5: Conjunto difuso para frontal izquierda

	1. Velocidad de rueda [m/s]	9.02778
	2. Sacudida de rueda	117
	3. Aceleración de rueda	127
	4. Suma difusa de 2 y 3	119
20	5. Velocidad de rueda	127
	6. Velocidad de rueda – Velocidad de vehículo	127
	7. Suma difusa de 5 y 6	127
	8. Suma difusa de 4 y 7	121
	9. Probabilidad de estabilidad de rueda	0.945313

25 Tabla 6: Conjunto difuso para derecha frontal

	1. Velocidad de rueda [m/s]	9.07986
	2. Sacudida de rueda	81
	3. Aceleración de rueda	127
	4. Suma difusa de 2 y 3	92
30	5. Velocidad de rueda	127
	6. Velocidad de rueda –Velocidad de vehículo	127
	7. Suma difusa de 5 y 6	127
	8. Suma difusa de 4 y 7	100
	9. Probabilidad de estabilidad de rueda	0.78125

35

Tabla 7: Conjunto difuso para izquierda posterior

	1. Velocidad de rueda [m/s]	9.02778
	2. Sacudida de rueda	117
	3. Aceleración de rueda	127
5	4. Suma difusa de 2 y 3	119
	5. Velocidad de rueda	127
	6. Velocidad de rueda –Velocidad de vehículo	127
	7. Suma difusa de 5 y 6	127
	8. Suma difusa de 4 y 7	121
10	9. Probabilidad de estabilidad de rueda	0.945313

Tabla 8: Conjunto difuso para derecha posterior

	1. Velocidad de rueda [m/s]	9.07986
	2. Sacudida de rueda	108
	3. Aceleración de rueda	127
15	4. Suma difusa de 2 y 3	112
	5. Velocidad de rueda	127
	6. Velocidad de rueda –Velocidad de vehículo	127
	7. Suma difusa de 5 y 6	127
	8. Suma difusa de 4 y 7	115
20	9. Probabilidad de estabilidad de ruedas	0.898438

El módulo 230 de ganancia de filtro recibe las señales generadas a partir del módulo 220 de operaciones difusas (por ejemplo, probabilidad de estabilidad de rueda para cada rueda). El módulo 230 de ganancia de filtro determina valores para un conjunto de coeficientes de ganancia de filtro Kalman con base en la estabilidad de las señales de velocidad de rueda. El conjunto de coeficientes de ganancia de filtro Kalman es generado hacia el módulo 125 de filtro Kalman. Los coeficientes de ganancia del filtro Kalman son seleccionados para minimizar el error de estimación del módulo 125 de filtro Kalman, como se describe más adelante.

El módulo 125 de filtro Kalman está configurado como un filtro de recurso que estima el estado de un sistema dinámico con entradas ruidosas. Por ejemplo, el módulo 125 de filtro Kalman recibe una señal alterada del primer sensor 110 (por ejemplo, una señal de sensor de aceleración alterada). El módulo 125 de filtro Kalman recibe también las probabilidades de estabilidad de rueda y los coeficientes de ganancia del filtro Kalman como entradas a partir de la unidad 120 lógica difusa. Con base en las señales recibidas y un modelo de vehículo conocido, el módulo 125 de filtro Kalman estima una velocidad longitudinal absoluta ("vFzREF") y una compensación del sensor de aceleración ("axOffAxSensor") para el vehículo 10 con base en los valores de la unidad lógica difusa.

Un modelo 300 de estado para el sistema 100 de compensación de señales del sensor se ilustra en la figura 4. La entrada y_k es una matriz 2x1 que representa una señal de sensor de aceleración. En muchos casos, la señal del sensor de aceleración ha sido alterada con ruido, una compensación o una combinación de ruido y compensación, tal como se describió anteriormente. A continuación se da la matriz y_k .

$$y_k = \begin{bmatrix} AxSensor \\ 0 \end{bmatrix}$$

5 La entrada w_k representa ruido blanco que proviene, por ejemplo, de los sensores de aceleración a la velocidad de rueda. La entrada w_k es independiente de y_k y no necesita ser conocida por el sistema 100 de compensación de señal del sensor para compensar las señales del sensor. Los valores para la velocidad longitudinal absoluta del vehículo y la compensación del sensor de aceleración son estados desconocidos del vehículo 10 y son dados por x_k a continuación.

$$x_k = \begin{bmatrix} vFzREF \\ axOffAxSensor \end{bmatrix}$$

10 La variable de entrada z_k es una variable sopesada con base en las probabilidades de estabilidad de rueda a partir del módulo de operaciones difuso de la unidad 120 lógica difusa. La entrada v_k representa un error de medición de un sensor (por ejemplo, el sensor de velocidad de rueda) que es causado, por ejemplo, por la fluctuación del consumo de energía por parte del sensor. Al igual que w_k , la entrada v_k no necesita ser conocida por el sistema 100 de compensación de señal del sensor para compensar las señales del sensor. El sistema 100 de compensación de señales del sensor sin embargo, es capaz de compensar los efectos tanto de la variable w_k de entrada de ruido blanco y la variable v_k de entrada del error de medición. La variable de salida x_k es una matriz 2x1 que incluye las variables de estado para los estados desconocidos del vehículo 10.

15 El sistema 100 de compensación de señal del sensor está modelado como un filtro Kalman-Bucy estacionario discreto en el tiempo. Una forma general del filtro Kalman-Bucy estacionario discreto en el tiempo se da a continuación.

$$x_k' = F_k x_{k-1}' + y_k + K[z_k - H_k(F_k x_{k-1}' + y_k)]$$

20 El sistema incluye dos variables de estado desconocidas, y por lo tanto, requiere dos ecuaciones de estado. Después de una integración de las variables de estado x_k , la velocidad longitudinal absoluta estimada del vehículo 10 está dada por la ecuación a continuación.

$$vFzREF_k = vFzREF_{k-1} + (AxSensor_k + axOffAxSensor_{k-1}) \cdot t_0$$

25 La velocidad longitudinal absoluta estimada para el vehículo 10 durante un ciclo actual (por ejemplo, un periodo de cálculo actual) se estima con base en una extrapolación de la velocidad longitudinal estimada del ciclo previo utilizando una señal de sensor de aceleración de vehículo corregida (por ejemplo, la combinación de la señal del sensor de aceleración del vehículo y la señal de compensación del sensor de aceleración calculada previamente). El factor de tiempo t_0 es un resultado de la integración y está relacionada con una longitud de ciclo o un periodo de muestra para cada cálculo.

30 La señal de compensación del sensor de aceleración se utiliza como la segunda ecuación de estado y se asume como no variable. Esto es, el término de corrección de compensación de la aceleración se asume como igual al término de corrección de compensación de aceleración de los ciclos previos o se asume con un cambio pequeño o despreciable a partir de un cálculo hasta el siguiente.

35 Los factores F_k y H_k , introducidos anteriormente en la forma general del filtro Kalman-Bucy de tiempo discreto, son matrices constantes que se seleccionan con base en el modelo del sistema de filtro Kalman (esto es, los resultados deseados de las ecuaciones de estado) utilizado en el módulo 125 de filtro Kalman. En algunas realizaciones F_k y H_k tienen los valores dados a continuación. En otras realizaciones, F_k y H_k tienen valores diferentes.

$$F_k = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad H_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$$

40 Una ecuación de matriz resultante para estimar la velocidad longitudinal absoluta del vehículo, y la compensación del sensor de aceleración se da a continuación.

$$\begin{bmatrix} vFzREF \\ axOffAxSensor \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} vFzREF \\ axOffAxSensor \end{bmatrix}_{t-1} + \begin{bmatrix} AxSensor \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} kovx \\ koaxOff \end{bmatrix} \left(z_t - \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} vFzREF \\ axOffAxSensor \end{bmatrix}_{t-1} \right)$$

5 El valor K mostrado en la forma general del filtro Kalman-Bucy de tiempo discreto es una matriz 2x1 que incluye los coeficientes de ganancia de filtro Kalman calculados kovx y koaxOFF lo cuales se calculan en el módulo 230 de ganancia de filtro de la unidad 120 de lógica difusa. Los coeficientes de ganancia de filtro Kalman se basan en la estabilidad de las señales de velocidad de rueda, tal como se describió anteriormente. Si las señales de velocidad de rueda tienen una alta confiabilidad, los coeficientes de ganancia del filtro Kalman son grandes. Si las señales de velocidad de rueda tienen una baja confiabilidad, los coeficientes de ganancia del filtro Kalman son pequeños. Los coeficientes de ganancia del filtro Kalman grandes dan como resultado que el módulo 125 del filtro Kalman convergen en estimativos exactos de la velocidad longitudinal absoluta del vehículo 10 y en la compensación del sensor de aceleración en un periodo corto de tiempo. Coeficientes de ganancia del filtro Kalman pequeños dan como resultado que el módulo 125 del filtro Kalman toma un tiempo más largo para converger en estimados exactos de la velocidad longitudinal absoluta del vehículo 10 y de la compensación del sensor de aceleración (cuando se comparan con coeficientes de ganancia de filtro Kalman grande).

15 La Tabla 9 demuestra el efecto del sistema 100 de compensación de señal del sensor. Los valores 1 – 4 listados a continuación son las velocidades de rueda medidas para cada una de las cuatro ruedas de un vehículo (tomados de las Tablas 5 – 8 anteriores).

Tabla 9: Resultados

1.	Velocidad de rueda izquierda frontal [m/s]	9.02778
2.	Velocidad de rueda derecha frontal [m/s]	9.07986
20	3. Velocidad de rueda izquierda posterior [m/s]	9.02778
	4. Velocidad de rueda derecha posterior [m/s]	9.07986
	5. Velocidad longitudinal estimada [m/s]	8.92361
	6. Resultado del sensor de aceleración [m/s ²]	3.09245
	7. Resultado del sensor de aceleración [m/s ²]	2.24668
25	8. Resultado del sensor de aceleración compensado [m/s ²]	.840929

La velocidad longitudinal estimada del vehículo 10 (elemento “5” en la Tabla 9), se calcula como 8.92361 m/s. La compensación del sensor de aceleración (elemento “7” en la Tabla 9) del módulo 125 del filtro Kalman se estima como – 2.24668 m/s². La combinación del sensor de aceleración negativa del módulo 125 del filtro Kalman indica que el vehículo 10 está viajando pendiente arriba. El resultado del sensor de aceleración compensado (elemento “8” en la Tabla 9) se calcula como una combinación del resultado del sensor de aceleración (elemento “6” en la Tabla 9) y la compensación del sensor de aceleración (elemento “7” en la Tabla 9). El resultado del sensor de aceleración compensado (elemento “8” en la Tabla 9) y la velocidad longitudinal estimada (elemento “5” en la tabla 9) del vehículo 10 son enviados entonces al módulo 15 de ESC. El resultado del sensor de aceleración compensado (elemento “8” en la tabla 9) y la velocidad longitudinal estimada (elemento “5” en la Tabla 9) proveen el módulo 15 de ESC con señales de aceleración y velocidad similares a las de un vehículo 10 que está viajando en un terreno nivelado (por ejemplo, terreno sin inclinación o declinación). Un resultado del sensor de aceleración compensado que es aproximadamente igual a la aceleración longitudinal del vehículo y se asegura que el módulo 15 de ESC está recibiendo una velocidad longitudinal estimada exacta para la cual se generan señales de accionamiento para los accionadores 25 (por ejemplo, bombas hidráulicas).

40 Así, la invención provee entre otras cosas, un sistema y método para compensar señales de sensor en un vehículo. Diversas características y ventajas de la invención se definen en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para compensación de señal de un sensor de vehículo, comprendiendo el sistema:
- un primer sensor (110) configurado para generar una primera señal de salida correspondiente a una aceleración de un vehículo;
- 5 un segundo sensor (115) configurado para generar una segunda señal de salida correspondiente a una velocidad de rueda del vehículo;
- un módulo (120) lógico difuso configurado para recibir la segunda señal de salida y para generar un primer conjunto de valores con base en al menos la segunda señal de salida y que representa una probabilidad de estabilidad de la rueda; y
- 10 un módulo (125) de filtro Kalman configurado para recibir el primer conjunto de valores y la primera señal de salida, caracterizado porque
- el módulo (125) de filtro Kalman está configurado para estimar una compensación del primer sensor, en donde una señal de sensor compensada para el primer sensor es generada con base en la compensación estimada del primer sensor y la primera señal de salida.
- 15 2. El sistema de la reivindicación 1, en donde el primer conjunto de valores incluye un conjunto de coeficientes de ganancia de filtro Kalman.
3. El sistema de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un módulo (105) de combinación configurado para combinar la señal del sensor compensado con la primera señal de salida.
- 20 4. El sistema de la reivindicación 1, en donde el módulo (125) de filtro Kalman está configurado para estimar una velocidad longitudinal absoluta del vehículo.
5. El sistema de la reivindicación 1, en donde el módulo (120) de lógica difusa está configurado para recibir una tercera señal correspondiente a una primera derivada de la segunda señal de salida y una cuarta señal correspondiente a una segunda deriva de la segunda señal de salida.
6. Un método de compensación de señal de sensor que comprende:
- 25 generar una primera señal de salida correspondiente a una aceleración detectada de un vehículo;
- generar una segunda señal de salida correspondiente a una velocidad de rueda detectada del vehículo;
- recibir, en un módulo (120) de lógica difusa, al menos la segunda señal de salida;
- generar, a partir del módulo (120) de lógica difusa, un primer conjunto de valores con base en una variable de probabilidad de estabilidad de rueda de al menos la segunda señal de salida;
- 30 recibir, en un módulo (125) de filtro Kalman, el primer conjunto de valores y la primera señal de salida; y
- caracterizado porque el método comprende
- estimar una compensación de la aceleración detectada del vehículo; y
- generar una señal de sensor compensada para la aceleración detectada del vehículo con base en la compensación estimada de la aceleración detectada del vehículo y la primera señal de salida.
- 35 7. El método de la reivindicación 6, en donde la primera señal de salida es generada por un sensor de aceleración del vehículo y la segunda señal de salida es generada por un sensor de velocidad de rueda del vehículo.
8. El método de la reivindicación 6, en donde la generación del primer conjunto de valores incluye la generación de un conjunto de coeficientes de ganancia de filtro Kalman.

9. El método de la reivindicación 6, que comprende adicionalmente estimar, en el módulo (125) de filtro Kalman, una velocidad longitudinal absoluta del vehículo.

10. El método de la reivindicación 6, que comprende adicionalmente recibir, en el módulo (120) lógico difuso, una tercera señal correspondiente a una primera derivada de la segunda señal de salida y una cuarta señal correspondiente a una segunda derivada de la segunda señal de salida.

5

Fig. 1

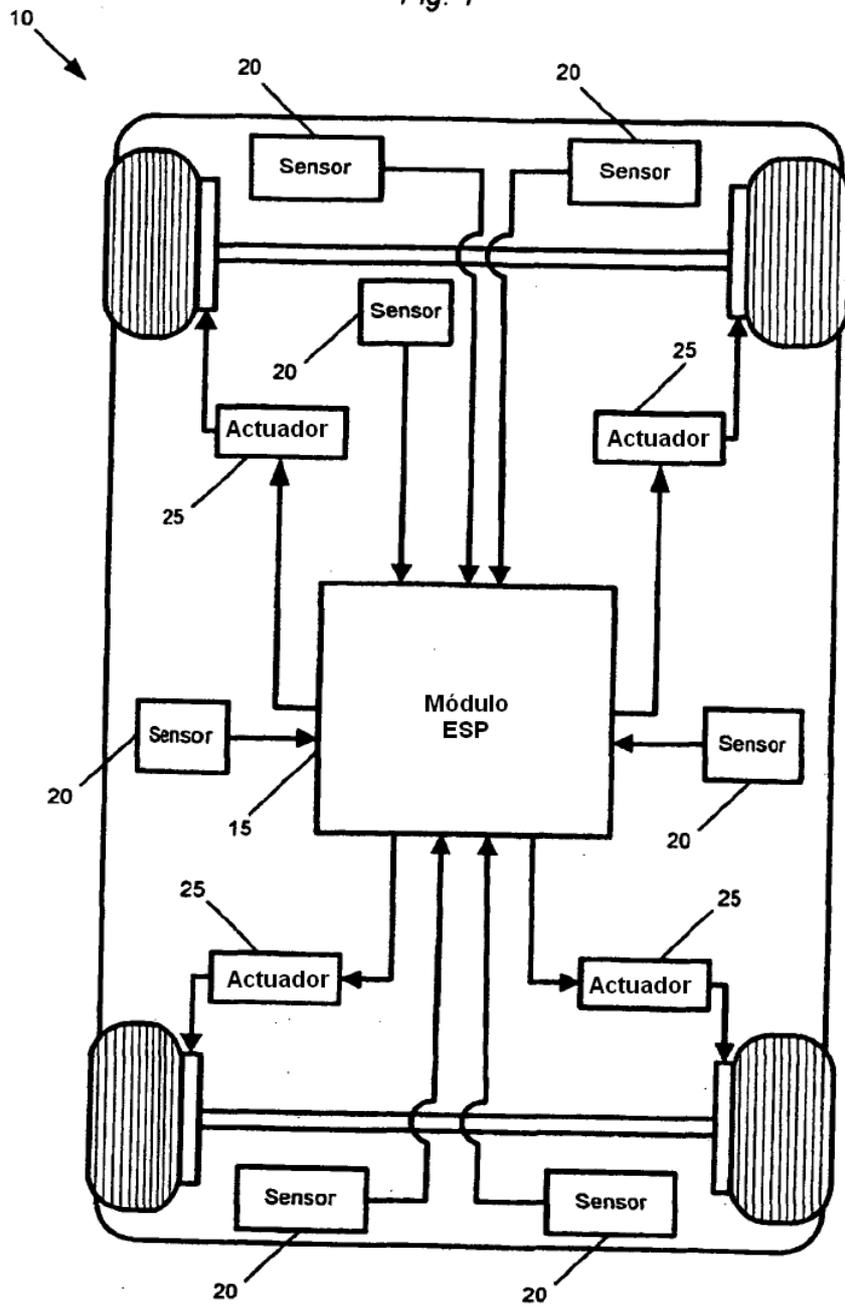


Fig. 2

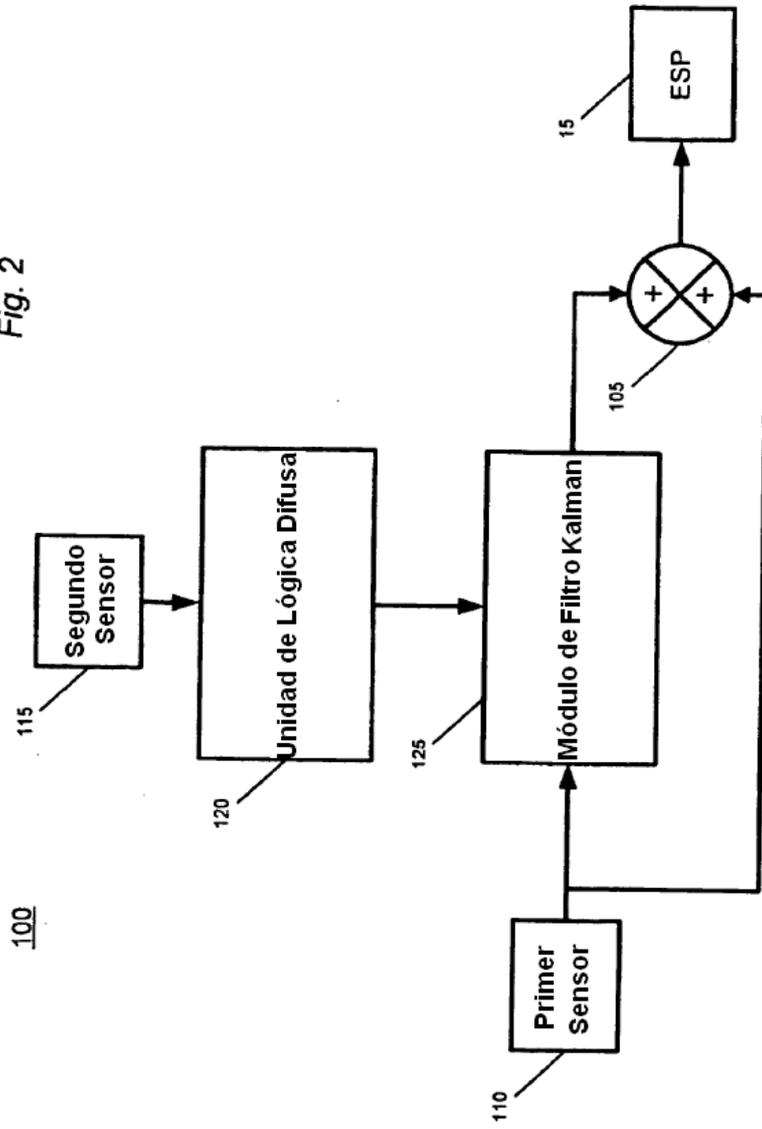


Fig. 3

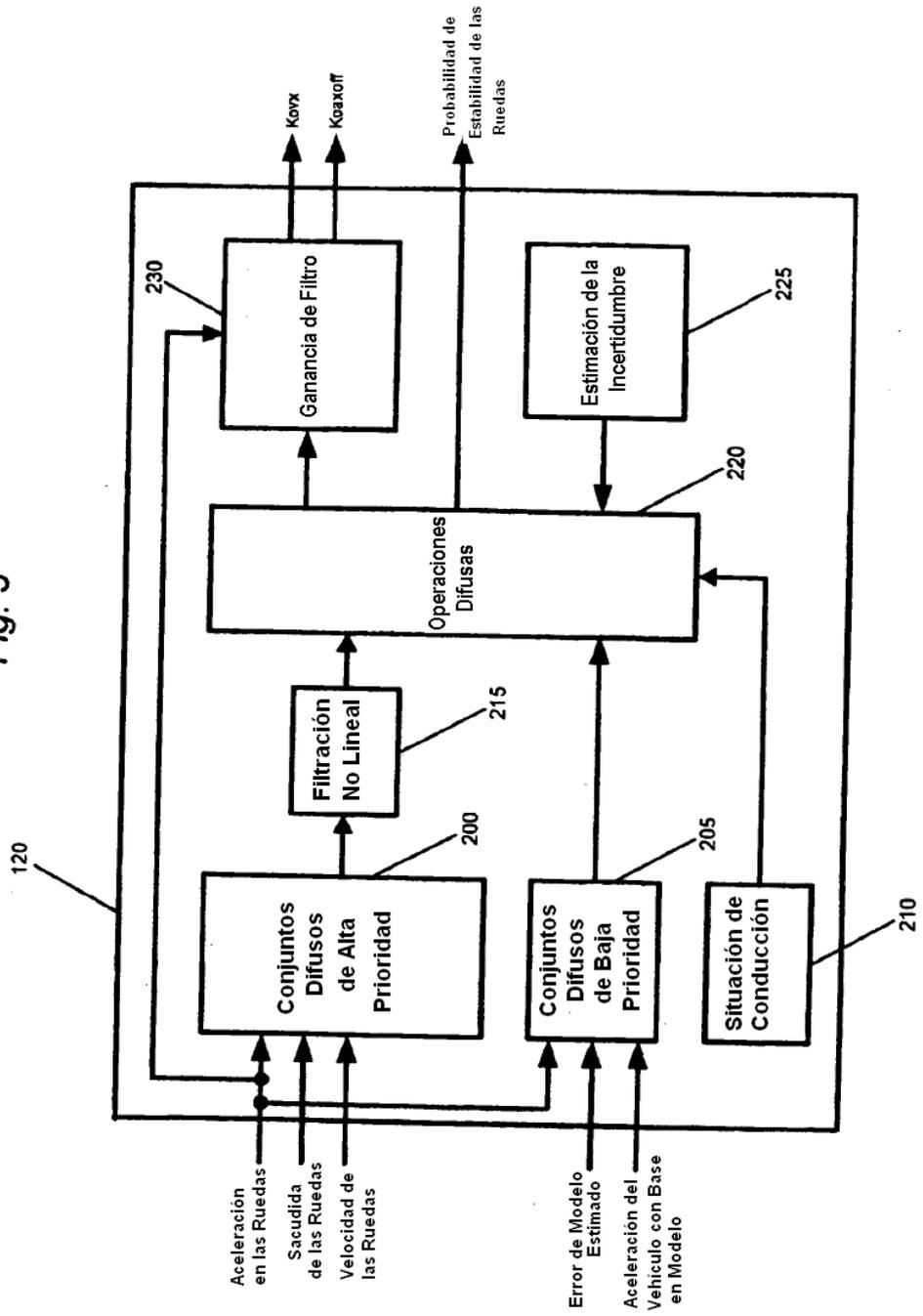


Fig. 4

300

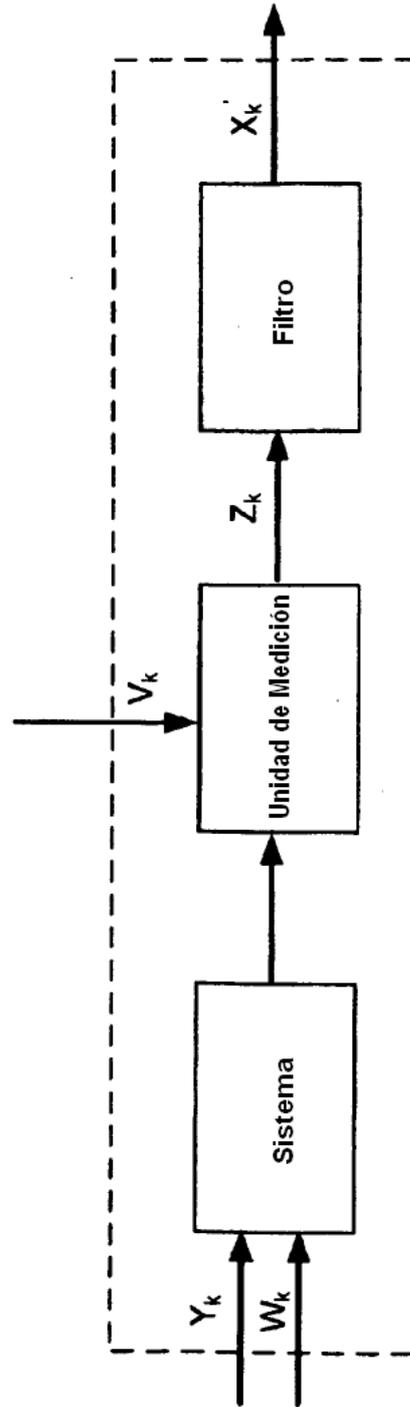


Fig. 5A

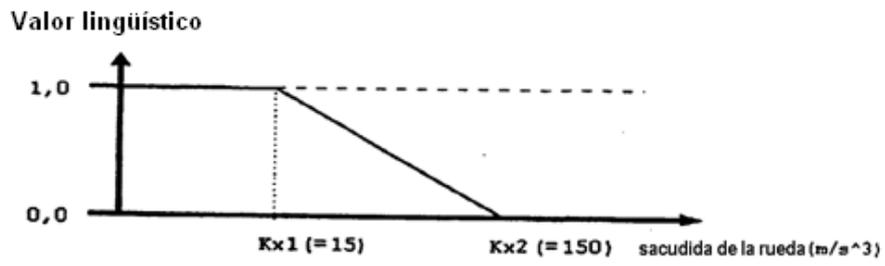


Fig. 5B

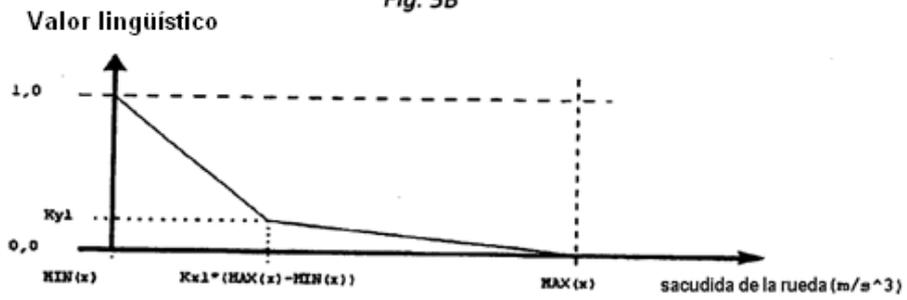
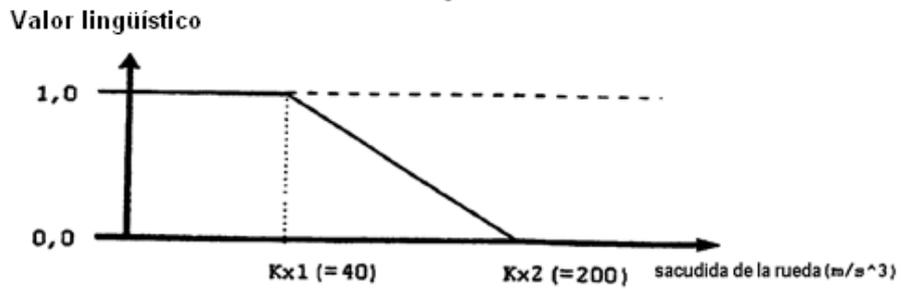


Fig. 5C



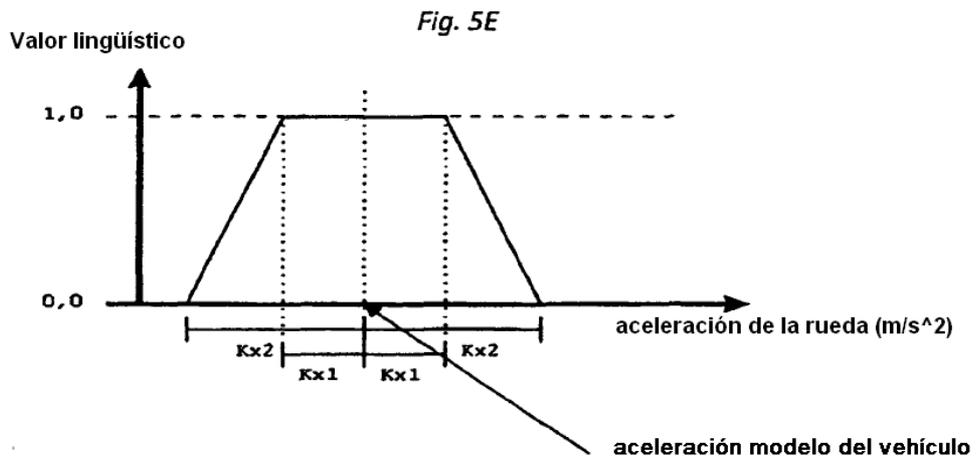
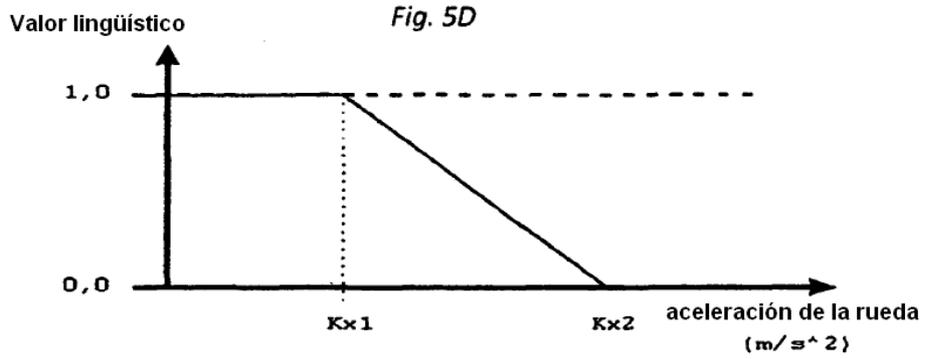
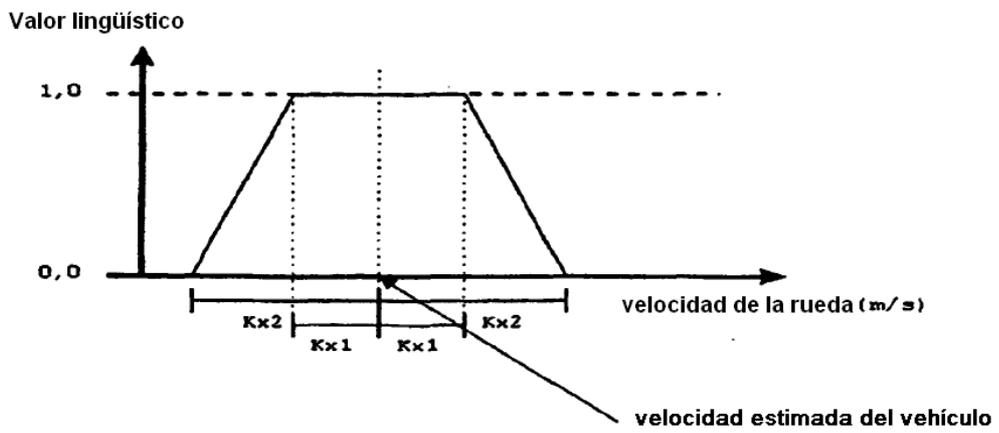


Fig. 5F



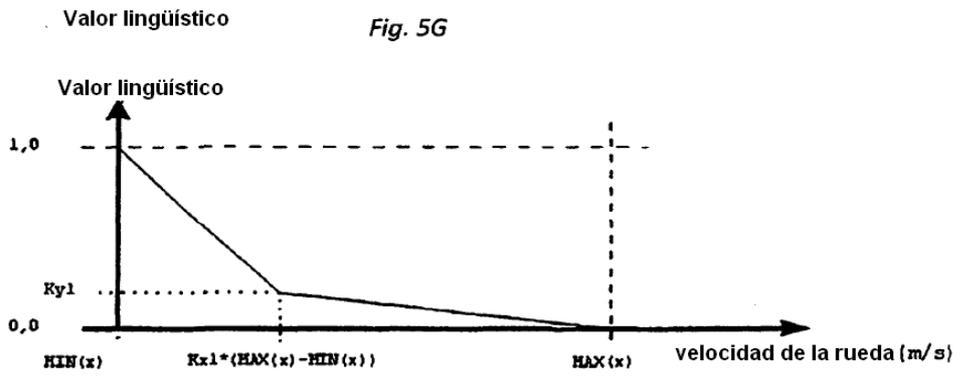


Fig. 5H

