

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 980 460**

51 Int. Cl.:

B60T 13/66 (2006.01)

G01P 21/00 (2006.01)

G01C 25/00 (2006.01)

G01P 15/18 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.06.2020** **PCT/EP2020/066460**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.12.2020** **WO20260049**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2020** **E 20733720 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2024** **EP 3990322**

54 Título: **Método para calibrar la orientación de un sensor de aceleración disponible en un vehículo**

30 Prioridad:

25.06.2019 DE 102019117089

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.10.2024

73 Titular/es:

**KNORR-BREMSESYSTEME FÜR
SCHIENENFAHRZEUGE GMBH (100.0%)
Moosacher Strasse 80
80809 München, DE**

72 Inventor/es:

**FRIESEN, ULF;
FURTWÄNGLER, RALF y
DEEKEN, DIRK**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 980 460 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

Método para calibrar la orientación de un sensor de aceleración disponible en un vehículo

5 El método se refiere a un método para calibrar la orientación de un sensor de aceleración proporcionado en un vehículo, en particular un método para calibrar la orientación de un sistema de coordenadas de un sensor de aceleración multi-eje en un vehículo ferroviario, un dispositivo que está configurado para realizar el método y un producto programa informático que está configurado para realizar el método de forma automática.

10 En los vehículos modernos, especialmente en los vehículos ferroviarios, se utilizan controles de desaceleración para garantizar una frenada económica, cómoda y segura. Tales regulaciones se encuentran descritos, por ejemplo, en los documentos de patente DE 10 2015 110 053 A1 o DE 10 2011 052 545 y requieren una señal de desaceleración real del vehículo en la dirección longitudinal del vehículo para regular la desaceleración,

Una señal de este tipo puede determinarse, por ejemplo, mediante sensores de aceleración instalados en los trenes. En caso necesario, la aceleración en dirección longitudinal del vehículo deberá corregirse con la parte de la fuerza de descenso en vías inclinadas. La aceleración longitudinal del vehículo se puede detectar mediante sensores de un eje orientados exactamente en la dirección longitudinal del vehículo.

15 Del estado de la técnica también se conoce del documento DE 10 2005 033 237 A1, el cual divulga un método para determinar desorientaciones de sensores de un grupo de sensores de un vehículo. En este caso, las direcciones de instalación reales de los sensores se determinan comparando los valores medidos por los sensores en diferentes condiciones con valores conocidos para estas diferentes condiciones en el sistema de coordenadas cartesianas fijo del vehículo.

20 El documento WO 2017/042138 A1 describe un método para determinar una orientación de una unidad de sensor, en donde la unidad de sensor presenta al menos un sensor de aceleración y está instalada en un vehículo.

El documento EP 2 853 901 A1 divulga un sistema telemático que incluye, entre otras cosas, un acelerómetro de tres ejes asociado con un objeto en movimiento y configurado para generar datos de orientación.

25 El documento US 2013/0081442 A1 describe un sistema de supervisión de vehículos con un acelerómetro instalado en el vehículo en una orientación desconocida. El sistema utiliza las señales de aceleración para determinar la orientación del acelerómetro en el vehículo.

30 Sin embargo, la instalación de sensores alineados con precisión es muy compleja, restrictiva en cuanto al posicionamiento de los sensores e incómoda. Como alternativa a los sensores de un solo eje también se pueden utilizar sensores de aceleración de varios ejes (en particular sensores de dos o tres ejes). Especialmente cuando se utilizan sensores con al menos tres ejes, se pueden montar en el vehículo en cualquier orientación. Estos sensores están integrados, por ejemplo, en una unidad de control (control de frenos), que puede estar dispuesta en cualquier orientación del vehículo.

35 Sin embargo, los sensores multi-eje tienen el inconveniente de que primero deben calibrarse en el sistema de coordenadas del vehículo para poder determinar con precisión las aceleraciones en dirección longitudinal o transversal del tren. Una calibración de este tipo se realiza preferentemente en un tramo de vía nivelado, que no debe presentar radios de curvatura, peraltes (inclinación transversal de la vía) ni pendientes. De esta manera se pueden excluir componentes en la dirección longitudinal o transversal del sensor, que se producen en la aceleración longitudinal o transversal del vehículo debido a la aceleración gravitacional en vías irregulares y que, por lo tanto, falsearían la calibración. Por lo tanto, para la calibración del sensor no son adecuados tramos de ruta reales, aparentemente llanos y rectos, en donde no se pueden excluir radios de curvatura, elevaciones de vía y pendientes o descensos. Debido a que el sensor sólo se puede calibrar con respecto al eje longitudinal del vehículo cuando el vehículo se mueve dinámicamente, también es necesario que el tramo de vía nivelado sea lo más largo posible que la longitud del vehículo.

Estos tramos de vía rara vez están disponibles en la red de rutas real y el transporte del vehículo a un tramo de vía calibrado y, por lo tanto también la calibración, requiere mucho tiempo, esfuerzo logístico y económico.

45 Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un método y un dispositivo asociado para calibrar la orientación de un eje longitudinal y un eje transversal de un sensor de aceleración proporcionado en un vehículo, que hace posible llevar a cabo una calibración precisa sin la utilización de tramos de vía nivelados y así reducir gasto en costes y tiempos para la calibración.

50 La tarea se resuelve mediante un método, un dispositivo y un producto de programa informático según las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones dependientes se encuentran perfeccionamientos ventajosos de la invención.

Un eje vertical del sensor es perpendicular a un eje transversal y a un eje longitudinal del sensor, que a su vez también son perpendiculares entre sí, lo que resulta de las denominaciones. Los tres ejes juntos dan como resultado el sistema de coordenadas del sensor, que se calibra mediante el método según la invención al sistema de coordenadas del

vehículo, que también se compone de 3 ejes perpendiculares entre sí (eje longitudinal, eje transversal, eje vertical). El método según la invención consta de varios pasos.

5 En el primer paso del método (paso del método (A)), al frenar el vehículo en un tramo de ruta seleccionado arbitrariamente a bajas velocidades y en estado parado, la aceleración en la dirección de los ejes longitudinal y transversal (direcciones longitudinal y transversal) del sensor se mide a lo largo del tiempo. A partir de las curvas de aceleración se pueden formar vectores de aceleración tomando al mismo tiempo un valor de la aceleración en la dirección longitudinal y en la dirección transversal del sensor. Por lo tanto, la magnitud del vector de aceleración representa la magnitud de la aceleración medida del vehículo en ese momento.

10 En el siguiente paso (paso del método (B)) se determina un vector de desfase, que corresponde a un vector de aceleración medido en reposo. Por lo tanto, este incluye una aceleración en dirección longitudinal y transversal del sensor provocada por una fuerza puesta abajo debido a una inclinación o pendiente del tramo de vía en donde se encuentra parado el vehículo. Si este tramo de vía es exactamente plano, el vector de desfase es 0 m/s^2 . Por tanto, representa la influencia de la aceleración de la gravedad sobre la aceleración medida en el sentido longitudinal o transversal del sensor y, por tanto, sólo se produce si el tramo de vía en donde se encuentra el vehículo no es plano.

15 A continuación, en otro paso del método (paso del método (C)), se corrige al menos un vector de aceleración medido en un momento del frenado, es decir, mientras el vehículo está en movimiento, restando el vector de desfase de la influencia de la aceleración debida a la gravedad (carga aerodinámica en pendiente) de la aceleración en la dirección longitudinal o transversal del sensor. El vector de aceleración resultante corresponde a la desaceleración longitudinal medida del vehículo.

20 En un último paso se transforma el sistema de coordenadas del sensor de tal manera que al menos un vector de aceleración resultante apunte en la dirección longitudinal del vehículo, es decir, en la dirección del eje longitudinal del sistema de coordenadas del vehículo.

25 En una forma de realización ventajosa, para transformar el sistema de coordenadas del sensor en el sistema de coordenadas del vehículo, se calcula el ángulo entre el eje longitudinal del sensor y el al menos un vector de aceleración resultante en el plano abarcado por el eje longitudinal y eje transversal del sensor. El al menos un vector de aceleración resultante es en este caso el vector de aceleración limpiado por el vector de desfase en el paso anterior. En el caso de varios vectores de aceleración resultantes determinados y su promedio para formar un vector de aceleración resultante promedio, el ángulo entre el eje longitudinal del sensor y el vector de aceleración resultante promedio se calcula en el plano comprendido por el eje longitudinal y el eje transversal del sensor.

30 Finalmente, el sistema de coordenadas del sensor se gira alrededor del eje vertical ya calibrado del sensor en el ángulo calculado. De este modo, el eje longitudinal del sensor se alinea con el eje longitudinal del vehículo y el eje se calibró en consecuencia. Puesto que por definición el eje longitudinal es perpendicular al eje transversal, también se garantiza que el eje transversal del sensor coincida con el eje transversal del vehículo. El procedimiento se puede llevar a cabo de forma continua o a intervalos durante el funcionamiento en curso y, por lo tanto, la calibración del sensor se puede renovar de forma continua o a intervalos.

En otra configuración ventajosa de la invención, para transformar el sistema de coordenadas del sensor (paso del método (D)), se determina una matriz de rotación para la rotación del sistema de coordenadas del sensor alrededor del eje vertical. La matriz se compone en este caso de los vectores unitarios a determinar del al menos un vector de aceleración resultante en la dirección de los ejes longitudinal y transversal del sensor.

40 En una forma de realización ventajosa de la invención, antes del primer paso del método (A), es decir, antes del registro de la aceleración del vehículo en las direcciones longitudinal y transversal a bajas velocidades, se calibra un eje vertical del sensor con respecto al eje vertical del vehículo. El eje vertical del sensor es perpendicular tanto al eje transversal como al eje longitudinal del sensor.

45 Además, es ventajoso calibrar el eje vertical del sensor sobre un carril de medición nivelado y/o calibrado y/o con el vehículo sobre raíles parado. El tramo de vía nivelado no tiene que ser más largo que la parte del vehículo ferroviario en donde está instalado el sensor. Por tanto, una calibración de este tipo puede realizarse cuando el vehículo ferroviario esté terminado. Mediante la calibración en un tramo de vía nivelado se puede garantizar que el sensor solo registre la aceleración de la gravedad, que actúa sobre el sensor puramente en dirección vertical. De esta forma, se puede calibrar fácilmente el eje vertical del sensor.

50 En una forma de realización ventajosa de la invención, el al menos un vector de aceleración resultante determinado en el paso del método (C) se encuentra en una ventana de calibración. La ventana de calibración es una ventana de tiempo con un inicio fijo y un final fijo, los cuales pueden desplazarse en el tiempo dependiendo de las curvas de aceleración medidas. Además, el inicio y el final de la ventana de calibración se pueden determinar, por ejemplo, mediante la sacudida del vehículo al detenerse o mediante valores de velocidad especificados con los que comienza o termina la ventana.

Todos los vectores de aceleración utilizados para la calibración se encuentran dentro de la ventana de calibración. De esta manera, se pueden excluir de la calibración secciones del proceso de frenado que podrían dar lugar a una

falsificación de la calibración, como zonas en donde el vehículo tiene una velocidad demasiado alta o demasiado baja, lo que mejora la calidad de la calibración.

En una forma de realización ventajosa de la invención, las curvas de aceleración medidas en el paso (A) del método se filtran para eliminar posibles ruidos de medición u otros errores de medición de las curvas de aceleración y así mejorar aún más la calidad de los resultados de la calibración. Es especialmente ventajoso filtrar con un filtro de paso bajo, que elimina las componentes de alta frecuencia de la curva de aceleración medida.

En otra forma de realización ventajosa se determina en el paso del procedimiento (C) más de solo un vector de aceleración resultante. A continuación, se promedian los vectores de aceleración resultantes determinados individualmente. La transformación del sistema de coordenadas del sistema de coordenadas se realiza entonces mediante el vector de aceleración resultante promediado, de modo que éste apunte en la dirección longitudinal del vehículo, es decir, en la dirección del eje longitudinal del vehículo. Una configuración de este tipo tiene la ventaja de que dentro de la ventana de calibración se tienen en cuenta varios vectores de aceleración, por lo que las imprecisiones de medición en los vectores de aceleración individuales distorsionan menos el resultado. Además, de esta manera se pueden compensar posiblemente pequeñas diferencias en las inclinaciones de las vías en dirección longitudinal o transversal (pendientes o elevaciones de vía) durante la ventana de calibración.

En otra configuración ventajosa de la invención, el vector de desfase se forma en el paso (B) del método promediando diferentes vectores de aceleración registrados. Los vectores de aceleración se componen de una componente en dirección longitudinal y una componente en dirección transversal del sensor y se encuentran dentro de una ventana de compensación definida, que representa una ventana de tiempo dentro de la cual el vehículo está parado y que se puede determinar, por ejemplo, mediante la sacudida de parada del vehículo. De esta manera se pueden reducir las imprecisiones de medición mientras el vehículo está parado y se puede determinar el vector de desfase más preciso posible.

En una configuración ventajosa de la invención se comprueba al menos una condición previa antes de registrar el valor medido en el paso (A) del procedimiento. Estas son, por ejemplo: la velocidad del vehículo es mayor que una velocidad mínima especificada y/o la desaceleración objetivo aplicada por un sistema de frenado del vehículo es mayor que una desaceleración objetivo mínima especificada, por ejemplo $0,8 \text{ m/s}^2$. De esta manera, se puede reducir la probabilidad de que un registro de medición produzca resultados inexactos y, por tanto, se puede aumentar la calidad de la calibración. Si no se cumple al menos una de estas condiciones, la calibración se declara no válida y se cancela.

Además, es ventajosa una configuración de la invención en donde se comprueban determinadas condiciones adicionales después de registrar los valores medidos de las curvas de aceleración en el paso (A) del procedimiento. Por ejemplo, se puede especificar como condición que la velocidad del vehículo al medir las curvas de aceleración sea mayor que una velocidad mínima especificada.

Otras condiciones podrían ser que cada uno de los vectores de aceleración medidos presente una cantidad mayor que una aceleración mínima, por ejemplo $0,6 \text{ m/s}^2$, o que la frenada se realice hasta detener el vehículo.

Para asegurar que el vector de desfase medido en reposo sea realista, también se puede establecer como condición que el vector de desfase medido no se desvíe de la aceleración de la gravedad en más de un valor determinado.

Siempre que no se contradigan entre sí, se pueden combinar en este caso diferentes condiciones según se desee y, en caso necesario, ajustarlas. Una forma de realización de este tipo tiene la ventaja de que las calibraciones basadas en mediciones poco realistas pueden declararse no válidas y excluirse según las condiciones establecidas.

En otra configuración ventajosa de la invención, el paso del método (D) continúa sólo si las cantidades de dos vectores de aceleración resultantes cualesquiera y/o sus ángulos determinados en el paso del método (D) no difieren entre sí en más de una cantidad fija, por ejemplo 3° . También en este caso estas condiciones adicionales pueden identificar calibraciones no válidas o inexactas y excluirlas.

En una forma de realización alternativa, el valor medido se registra a lo largo del eje longitudinal y del eje transversal del sensor según el paso del método (A) al acelerar desde la situación de parado. A continuación, los valores medidos registrados se procesan de forma análoga al procedimiento descrito anteriormente.

En una forma de realización ventajosa de la invención, el método se lleva a cabo de forma continua o a intervalos fijos durante el funcionamiento normal del vehículo. Esto tiene la ventaja de que el sistema de coordenadas del sensor se realinea constantemente, y con ello es posible determinar con precisión la aceleración del vehículo en cualquier momento.

El dispositivo según la invención está configurado para llevar a cabo el método según la reivindicación 1 y presenta una unidad operativa que está configurada para ser operada por un operador y recibir comandos de él. También tiene una unidad de almacenamiento que está configurada para almacenar los datos recopilados durante el método, una unidad de cálculo que está configurada para procesar los datos recopilados durante el método y una interfaz de datos que está configurada tanto para registrar los datos recopilados por el sensor como los datos recopilados durante el método, como para enviar datos determinados y/o procesados por el dispositivo al operador u a otros sistemas.

El producto de programa informático según la invención está configurado para llevar a cabo automáticamente los pasos del método según la reivindicación 1 y garantizar así la calibración automática del sensor.

La invención se explica a continuación con más detalle mediante un ejemplo de realización haciendo referencia a las figuras adjuntas. Las figuras muestran en detalle:

- 5 **Figura 1** muestra esquemáticamente un vehículo ferroviario y un sensor de aceleración orientado en cualquier dirección
- Figura 2** muestra curvas medidas del sensor de aceleración en sus tres ejes de coordenadas y una curva de velocidad medida asociada.
- 10 **Figura 3a** muestra tres vectores de aceleración medidos en diferentes momentos durante el frenado y cuando el vehículo está parado para calibrar el sensor de aceleración
- Figura 3b** muestra dos vectores de aceleración ajustados por el vector de desfase
- Figura 4** muestra las curvas de las aceleraciones de la figura 2 medidas por el sensor de aceleración, que fueron filtradas por un filtro de paso bajo y ajustadas por el vector de desfase
- 15 **Figura 5** muestra un diagrama de flujo para ilustrar la secuencia de una forma de realización del método según la invención

La **figura 1** muestra un vehículo ferroviario (10) sobre una vía (20) y con un sensor de aceleración (30) instalado en el vehículo ferroviario (10) en cualquier orientación. La orientación del sistema de coordenadas (x_{sensor} , y_{sensor} , z_{sensor}) del sensor (30) no se corresponde en este caso con el del sistema de coordenadas ($x_{\text{vehículo}}$, $y_{\text{vehículo}}$, $z_{\text{vehículo}}$) del vehículo ferroviario (10). Para registrar una aceleración del vehículo (10) en su dirección longitudinal ($x_{\text{vehículo}}$) o dirección transversal ($y_{\text{vehículo}}$) con el sensor de aceleración (30), primero se debe calibrar el sistema de coordenadas del sensor (30) al sistema de coordenadas del vehículo. Esto significa que los ejes de coordenadas correspondientes de los respectivos sistemas de coordenadas deben estar orientados paralelos entre sí. Para ello se define que debe corresponder el eje x del sensor (x_{sensor}) al eje x del vehículo ($x_{\text{vehículo}}$), es decir, al eje longitudinal del vehículo, el eje y del sensor (y_{sensor}) al eje y del vehículo ($y_{\text{vehículo}}$), es decir, al eje transversal del vehículo y el eje z del sensor (z_{sensor}) al eje z del vehículo ($z_{\text{vehículo}}$), es decir, al eje vertical del vehículo.

Para ello, primero se calibra el eje vertical z_{sensor} del sensor al eje vertical $z_{\text{vehículo}}$ del vehículo. En este caso la parte del vehículo en donde se instala el sensor de aceleración se coloca en un tramo de vía nivelado que no tiene elevaciones ni inclinación de vía y, por tanto, es completamente plano. La aceleración registrada por el sensor de aceleración en este estado corresponde a la aceleración conocida de la gravedad, que actúa exclusivamente en la dirección vertical del vehículo. De este modo, el sistema de coordenadas del sensor se puede orientar de tal manera que el eje vertical del sensor esté orientado paralelo al eje vertical del vehículo.

A continuación se calibran los dos ejes restantes x_{sensor} y y_{sensor} del sensor en el eje longitudinal o transversal ($x_{\text{vehículo}}$ o $y_{\text{vehículo}}$) del vehículo. Para ello se registran las curvas de aceleración del sensor en dirección x o y durante el funcionamiento o durante la puesta en marcha del vehículo y se evalúan durante el proceso de frenado en un rango de velocidad a bajas velocidades y en el estado de parada posterior. Mediante la evaluación en el rango de velocidad baja se pueden reducir las influencias de los radios de curvas de las vías que se pueden. Antes de una calibración exitosa, las señales del sensor no se utilizan en el sistema.

Figura 2 muestra las curvas de aceleración medidas en las tres direcciones de coordenadas (x_{sensor} , y_{sensor} , z_{sensor}) del sensor y la curva de velocidad asociada a lo largo del tiempo. La velocidad del vehículo disminuye linealmente, mientras que las curvas de aceleración son aproximadamente constantes, a excepción del inicio de la frenada y la llegada a la parada. Por tanto, las curvas representan un proceso de frenado del vehículo con una desaceleración casi constante. En este caso el retraso en la dirección x del sensor es significativamente mayor en comparación con el retraso en la dirección y. Para procesar mejor los datos, estos se filtran mediante un filtro de paso bajo, que elimina los componentes de alta frecuencia de las curvas, que pueden deberse, por ejemplo, al ruido de la medida.

La evaluación comienza con la definición de una ventana de calibración y una ventana de desfase. El comienzo y el final de ambas ventanas se pueden definir en este caso, por ejemplo, mediante la sacudida de arranque o de parada del vehículo. La duración de la ventana de tiempo se puede configurar adicionalmente según los resultados de la medición o las condiciones de la vía. La definición de la ventana de calibración puede tener lugar de tal manera que el comienzo de la ventana de calibración esté definido mediante un período de tiempo fijo, por ejemplo 5 s, antes de que se defina el momento de la sacudida de parada registrado. El final de la ventana de calibración se determina entonces mediante un segundo período de tiempo fijo más pequeño, por ejemplo 1 s, antes del momento de la sacudida de parada. La ventana de desfase se puede definir igualmente mediante un procedimiento análogo.

Otra forma de definir la ventana de calibración es establecer valores de umbral fijos para la velocidad del vehículo a la que comienza y termina la ventana de calibración. Por ejemplo, se puede definir que la ventana comienza cuando el vehículo viaja a una velocidad de 2 m/s y la ventana termina cuando el vehículo viaja apenas a una velocidad de

0,5 m/s.

Para calibrar el sensor se aproximan exclusivamente las curvas dentro de las dos ventanas. Los vectores de aceleración se forman tanto en la ventana de calibración como en la ventana de desfase, que se componen de un componente x e y al mismo tiempo. En la figura 3a hay dos vectores de aceleración a_{t1} y a_{t2} , que representan las aceleraciones en dos momentos diferentes, que se muestran como un ejemplo de los vectores de aceleración medidos desde la ventana de calibración.

Los vectores de aceleración medidos desde la ventana de desfase se promedian para producir de ese modo un vector de desfase a_o (ver fig. 3a), que elimina la influencia estática de la pendiente/inclinación o pendiente transversal (elevación de la vía) de la vía debido a la aceleración de la gravedad. Este vector de desfase a_o se sustrae entonces de los vectores de aceleración medidos (a_{t1} y a_{t2} en la fig. 3a) para obtener los vectores de aceleración resultantes (a_{r1} y a_{r2} en la fig. 3b), los cuales corresponden exclusivamente a la fuerza de frenado en dirección longitudinal $x_{vehículo}$ del vehículo.

La **figura 4** muestra las mismas curvas de aceleración que la figura 2, pero las curvas que se muestran en la figura 4 se filtran a través de un filtro de paso bajo y ya se corrigen del desfase restando el sector de desfase. Además, el cuarto diagrama ya no muestra el desarrollo de la aceleración en la dirección z del sensor, como en la figura 2, sino el desarrollo de un ángulo, que se explicará con más detalle a continuación. En las curvas se muestran tanto la ventana de calibración como la ventana de desfase. Dentro de la ventana de calibración se indican a modo de ejemplo los dos momentos t_1 y t_2 correspondientes a los vectores en las figuras 3a y 3b.

Después de formar los vectores de aceleración resultantes dentro de la ventana de calibración, para cada vector de aceleración resultante a_r (a_{r1} y a_{r2} en la fig. 3b) se determina un ángulo w_r (w_{r1} y w_{r2} en la fig. 3b) del cual se desvía el correspondiente vector de aceleración del eje x del sensor que debe calibrarse con respecto al eje longitudinal del vehículo.

El curso del ángulo w_r a lo largo del tiempo se muestra en el último diagrama de la figura 4. Como puede verse, el ángulo w_r aumenta en el ejemplo mostrado, un valor comparativamente pequeño, que se explica por la alta proporción de la aceleración medida en la dirección x en comparación con la proporción en la dirección y . Promediando todos los ángulos w_r así obtenidos dentro de la ventana de calibración, se puede calcular un ángulo promedio w_m alrededor del cual debe girar el sistema de coordenadas del sensor alrededor de su eje z (eje vertical) de modo que la orientación del eje x del sensor corresponda al eje longitudinal del vehículo. Mediante esta rotación se calibra el sistema de coordenadas del sensor con el sistema de coordenadas del vehículo.

La **figura 5** muestra un diagrama de flujo para calibrar el eje x de un sensor de aceleración con respecto al eje longitudinal de un vehículo ferroviario según una forma de realización de la invención.

Después de iniciar la calibración del eje x , que puede ser activada automáticamente por un operador o mediante una condición predeterminada por el sistema, primero se comprueba si se han cumplido las condiciones previas para una calibración del eje x . Estas son, por ejemplo, si la calibración del eje z_{sensor} del sensor en el eje vertical del vehículo ferroviario, $z_{vehículo}$ ya ha tenido lugar, la velocidad v del vehículo es mayor que una velocidad mínima requerida v_{min} , o la desaceleración objetivo aplicada por el sistema de frenado excede una desaceleración objetivo mínima. Si no se cumplen los requisitos previos, la calibración se declara no válida y se cancela.

Si se cumplen los requisitos, el sensor de aceleración registra las curvas de aceleración en las tres direcciones de coordenadas al conducir a baja velocidad durante el proceso de frenado hasta detenerse en cualquier tramo de la ruta. A continuación, se filtran las curvas de aceleración medidas, por ejemplo mediante un filtro de paso bajo, antes de comprobar si se cumplen las condiciones de validez de la medición. Tales condiciones (condiciones posteriores) son, por ejemplo, que el frenado debe realizarse hasta que el vehículo se detenga y que la magnitud de los vectores de aceleración medidos a_t sea mayor en cualquier momento que un valor umbral especificado $a_{min.}$, por ejemplo 0,5 m/s², o cuando, en reposo, la magnitud de la aceleración medida no se desvía de la aceleración de la gravedad en más de un valor definido. Si no se cumplen las condiciones posteriores, la calibración se declara inválida y se cancela.

Si se cumplen las condiciones posteriores, se fijan como se describe anteriormente una ventana de calibración y una ventana de desfase, por ejemplo con dependencia de una sacudida de parada. Los vectores de aceleración se determinan en las respectivas ventanas en diferentes momentos, cada uno de los cuales consta de una componente en la dirección x y una componente en la dirección y del sensor. A continuación se determina un vector de desfase promediando los vectores de aceleración dentro de la ventana de desfase, que luego se usa para corregir los vectores de aceleración a_t desde la ventana de calibración. Los vectores así calculados resultantes a_r representan la desaceleración del vehículo en su dirección longitudinal. En el siguiente paso, se calculan los ángulos w_r asociados a los vectores de aceleración resultantes a_r entre el eje x del sensor y los vectores a_r calculados en el plano abarcado por el eje x y el eje y .

En un paso posterior se comprueba si las desviaciones entre los ángulos resultantes w_r de cualesquiera dos vectores resultantes a_{r1} y a_{r2} y la desviación de las cantidades vectoriales excede una desviación máxima permitida. Si este es el caso, la calibración se declara no válida y se cancela.

Si las desviaciones están dentro de un rango permitido, los ángulos resultantes w_r son promediados y mediante eso se calcula un ángulo medio w_m . A continuación, se gira el sistema de coordenadas del sensor alrededor de éste, de modo que el eje x_{sensor} del sensor presenta la misma orientación que el eje longitudinal del vehículo ferroviario $x_{\text{vehículo}}$.

- 5 Cabe señalar que un registro de los valores medidos de las curvas de aceleración también se puede realizar durante un proceso de aceleración desde parado con condiciones límite correspondientemente adaptadas, en lugar de durante un proceso de frenado hasta parado, sin desviarse del concepto inventivo de las reivindicaciones independientes del método.

Lista de símbolos de referencia

	10	Tren
10	20	Vía
	30	Sensor
	x_{sensor}	Dirección longitudinal del sensor
	y_{sensor}	Dirección transversal del sensor
	z_{sensor}	Dirección vertical del sensor
15	$x_{\text{vehículo}}$	Dirección longitudinal del vehículo ferroviario
	$y_{\text{vehículo}}$	Dirección transversal del vehículo ferroviario
	$z_{\text{vehículo}}$	Dirección vertical del vehículo ferroviario
	v	Velocidad del vehículo ferroviario
	a_x	Aceleración en la dirección longitudinal del sensor
20	a_y	Aceleración en la dirección transversal del sensor
	a_z	Aceleración en la dirección vertical del sensor
	t	Tiempo
	a_{t1}	Vector de aceleración en el momento t_1
	a_r	Vector de aceleración resultante
25	a_o	Vector de desfase
	w_r	Ángulo de los vectores de aceleración resultantes
	w_m	Ángulo promedio

REIVINDICACIONES

1. Método para calibrar la orientación de un eje longitudinal (x_{sensor}) y un eje transversal (y_{sensor}) de un sensor de aceleración (30) previsto en un vehículo que tiene un sistema de coordenadas formado por el eje longitudinal (x_{sensor}), el eje transversal (y_{sensor}) y un eje vertical (z_{sensor}), donde los ejes son cada uno de ellos perpendiculares entre sí, presentando los siguientes pasos:
 - (A) medir la aceleración a lo largo del eje longitudinal y transversal (x_{sensor} y y_{sensor}) del sensor (30) durante un procedimiento de frenado del vehículo (10) a baja velocidad y en parado a lo largo de la curva de tiempo,
 - (B) determinar un vector de desfase (a_0) en parada, que se compone de una componente en la dirección del eje longitudinal (x_{sensor}) y una componente en la dirección del eje transversal (y_{sensor}) del sensor y representa la influencia de la aceleración de la gravedad sobre la aceleración medida del vehículo,
 - (C) determinar al menos un vector de aceleración resultante (a_r) restando el vector de desfase (a_0) de al menos un vector de aceleración medido (a_t) que se compone de una aceleración medida en la dirección de cada uno de los ejes longitudinal y transversal (x_{sensor} e y_{sensor}) en un momento dado,
 - (D) transformar el sistema de coordenadas del sensor, de modo que el al menos un vector de aceleración resultante (a_r) apunta en la dirección longitudinal del vehículo.
2. Método según la reivindicación anterior, en donde para transformar el sistema de coordenadas del sensor en el paso del método (D) se forma un ángulo (w_r) entre el eje longitudinal del sensor (x_{sensor}) y se calcula el al menos un vector de aceleración resultante (a_r) en el plano abarcado por el eje longitudinal (x_{sensor}) y el eje transversal (y_{sensor}) del sensor y el sistema de coordenadas del sensor se gira alrededor del eje vertical ya calibrado del sensor (z_{sensor}) en el ángulo calculado (w_r).
3. Método según la reivindicación 1, en donde para transformar el sistema de coordenadas del sensor (paso del método (D)) se determina una matriz de rotación para la rotación del sistema de coordenadas del sensor alrededor del eje vertical (z_{sensor}), estando en este caso compuesta la matriz de rotación por los vectores unitarios a determinar del al menos un vector de aceleración resultante (a_r) en la dirección de los ejes longitudinal y transversal del sensor.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde antes del paso del método (A), un eje vertical (z_{sensor}) del sensor (30), que es perpendicular al eje longitudinal (x_{sensor}) y el eje transversal (y_{sensor}) del sensor, se calibra en el eje vertical ($z_{\text{vehículo}}$) del vehículo.
5. Método según la reivindicación anterior, donde la calibración del eje vertical (z_{sensor}) del sensor se realiza sobre una vía de medición nivelada y/o calibrada y/o con el vehículo parado (10).
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el al menos un vector de aceleración resultante (a_r) determinado en el paso del método (C) se encuentra en una ventana de calibración que tiene un comienzo y un final determinados, que se pueden desplazar en el tiempo y/o se determinan mediante la sacudida de parada del vehículo (10), y en donde cada vector de aceleración resultante (a_r) utilizado para la calibración se encuentra dentro de la ventana de calibración.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde entre los pasos (A) y (C) del procedimiento se filtran las curvas de aceleración medidas en las direcciones longitudinal y transversal del sensor, en particular mediante un filtro de paso bajo.
8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde en la etapa del método (C), se determina más de un vector de aceleración resultante (a_r), y luego se calculan respectivamente los ángulos (w_r) correspondientes a cada uno de los vectores determinados, los cuales posteriormente se promedian para obtener un ángulo promedio (w_m), y en donde el sistema de coordenadas del sensor se gira posteriormente según el ángulo medio calculado (w_m) alrededor del eje vertical ya calibrado ($z_{\text{vehículo}}$) del sensor.
9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde en la etapa del método (C), se determina más de sólo un vector de aceleración resultante (a_r) y, a continuación, se promedian los vectores de aceleración resultantes (a_r) determinados individualmente, realizándose entonces la transformación del sistema de coordenadas del sensor a partir del vector de aceleración resultante medio, de modo que éste apunte en la dirección longitudinal del vehículo.
10. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el vector de desfase (a_0) en la etapa (C) del método se especifica promediando múltiples vectores de aceleración detectados (a_t), que se registran en una ventana de desfase especificada arbitrariamente, y en donde la ventana de desfase se especifica ventajosamente mediante la sacudida de parada del vehículo.
11. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde antes del paso del método (A), se comprueban las condiciones de si la velocidad (v) del vehículo es mayor que una velocidad mínima especificada (v_{min}) y/o la desaceleración objetivo aplicada por un sistema de frenado del vehículo supera un objetivo mínimo de frenado

y/o el eje vertical (z_{sensor}) del sensor ya estaba calibrado en el eje vertical (z_{sensor}) del vehículo, y si no se cumple una de estas condiciones no se inicia la calibración.

- 5 12. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde después del paso del método (A), se verifican las condiciones de que cada vector de aceleración medido (a_t), en cada momento durante la medición de la curva de aceleración hasta casi la parada, tenga un valor que es mayor que una aceleración mínima especificada (a_{min}) y/o que el frenado se realiza hasta la parada del vehículo y/o que el valor determinado de un vector de aceleración determinado en parada se desvíe menos de un valor determinado de la aceleración de la gravedad, y si no se cumple al menos una de estas condiciones, no se continúa con la calibración.
- 10 13. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde después del paso del método (D), se verifican las condiciones de que los valores absolutos de dos vectores de aceleración resultantes arbitrarios (a_{r1}) y (a_{r2}) se desvían entre sí en menos de un valor absoluto especificado, y/o que los ángulos (w_i) determinados en el paso del método (D) de dos vectores de aceleración resultantes arbitrarios (a_{r1}) y (a_{r2}) se desvían entre sí en menos de un valor especificado, y si no se cumple al menos una de estas condiciones, no se continúa con la calibración.
- 15 14. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el registro del valor medido a lo largo del eje longitudinal (x_{sensor}) y el eje transversal (y_{sensor}) del sensor según el paso (A) del método se realiza durante las aceleraciones desde la parada y no durante la desaceleración desde valores de velocidad bajos hasta la parada.
15. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el método se lleva a cabo de forma continua o a intervalos específicos en funcionamiento regular.
- 20 16. Dispositivo configurado para llevar a cabo el método según la reivindicación 1, que tiene:
 - una unidad operativa configurada para ser operada por un operador y para aceptar comandos,
 - una unidad de memoria configurada para almacenar los datos recogidos durante el método,
 - una unidad de cálculo configurada para procesar los datos recopilados durante el método,
 - una interfaz de datos configurada tanto para registrar los datos detectados por el sensor como también para enviar datos determinados y/o procesados por el dispositivo al operador u otros sistemas.
- 25 17. Producto de programa informático configurado para llevar a cabo automáticamente los pasos del método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 12.

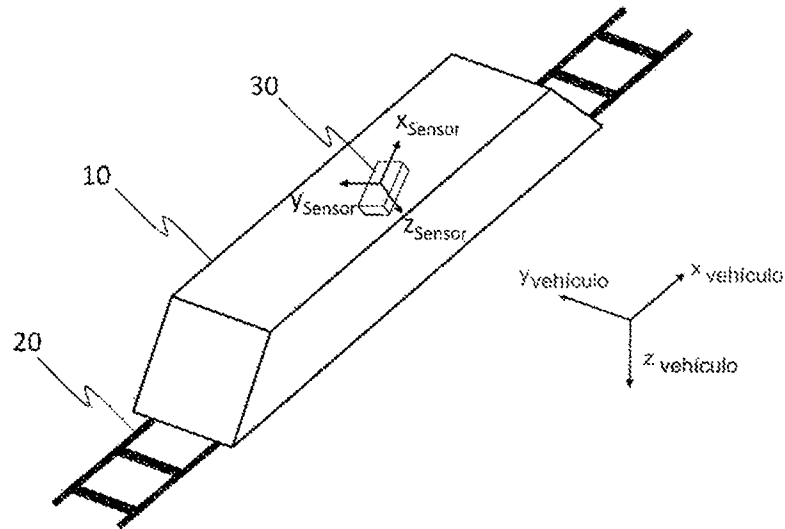


Figura 1

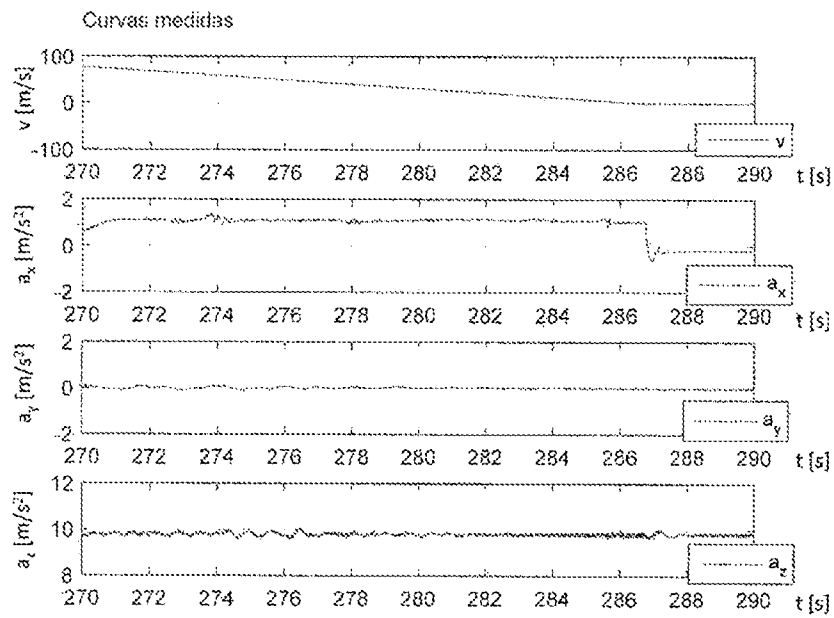


Figura 2

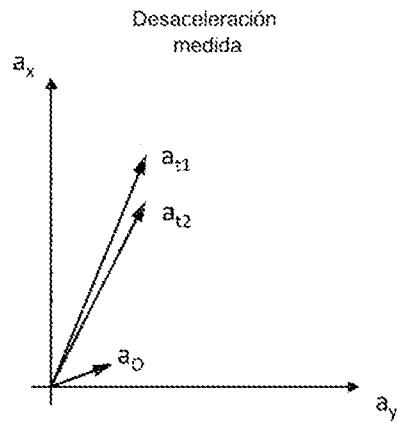


Figura 3a

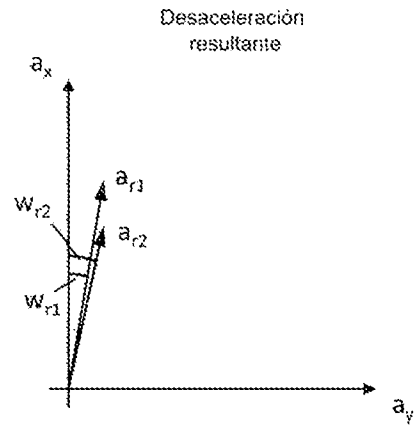


Figura 3b

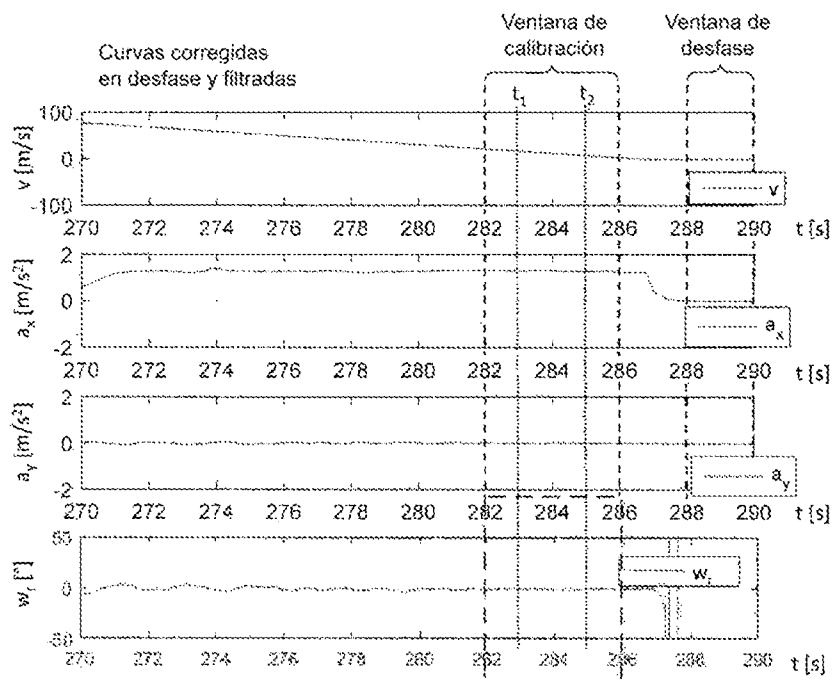


Figura 4

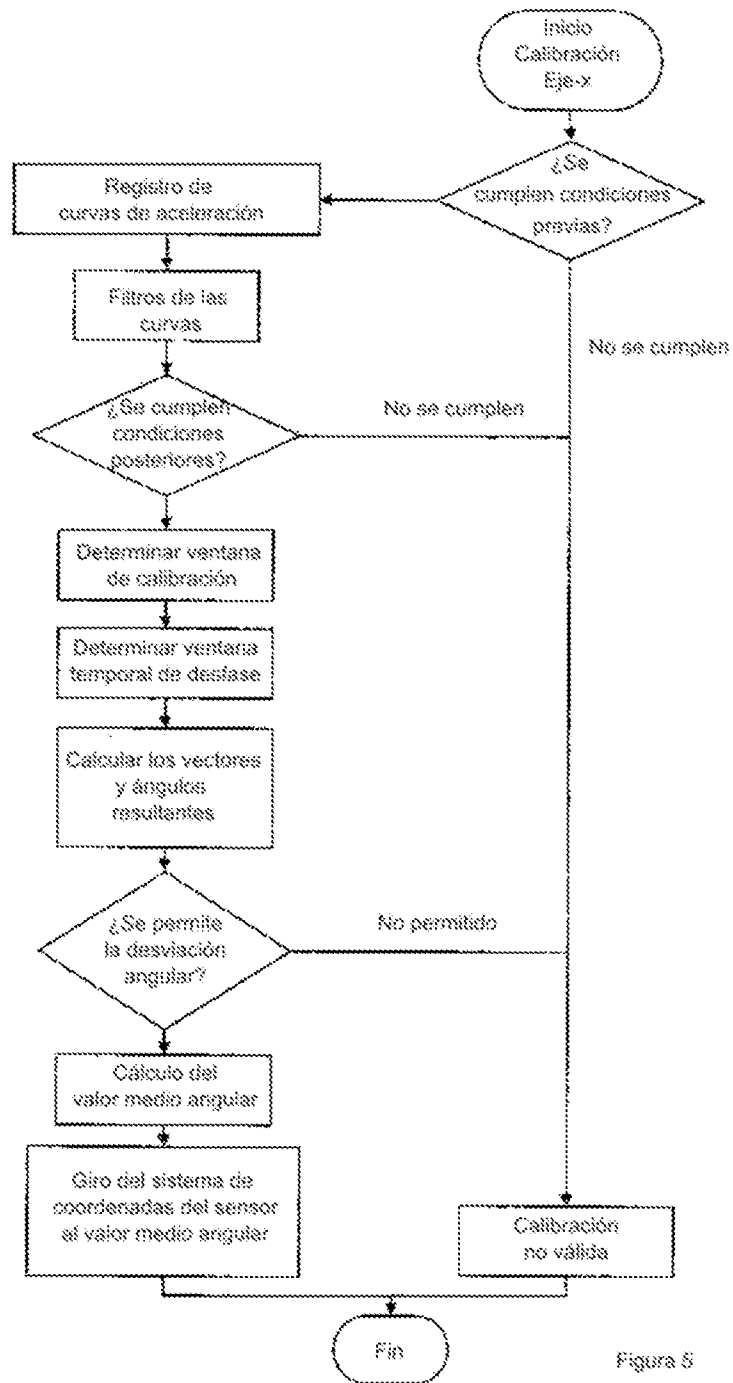


Figura 5