

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 703 165**

51 Int. Cl.:

**B60R 21/0132** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.05.2014 PCT/GB2014/051383**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.11.2014 WO14177891**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.05.2014 E 14721955 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2018 EP 2991861**

54 Título: **Método, aparato y programa informático para detectar una colisión utilizando datos de acelerómetro**

30 Prioridad:

**02.05.2013 GB 201307980**

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

**07.03.2019**

73 Titular/es:

**REDTAIL TELEMATICS LIMITED (100.0%)  
Plextek Building London Road  
Great Chesterford Essex CB10 1NY, GB**

72 Inventor/es:

**DEBENHAM, PETER;  
MASSAM, PETER y  
ALLEN, TONY**

74 Agente/Representante:

**CAMPELLO ESTEBARANZ, Reyes**

ES 2 703 165 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, aparato y programa informático para detectar una colisión utilizando datos de acelerómetro

### 5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un método, a un aparato y a un programa informático para determinar si se ha producido una colisión de vehículo usando datos de acelerómetro.

### 10 Antecedentes

Se conoce la monitorización de la aceleración de un vehículo usando un acelerómetro. Esta medida se puede utilizar para una diversidad de propósitos. Por ejemplo, se puede usar como una entrada para decidir si activar un airbag.

- 15 El documento US-5.436.838 analiza la discriminación de choque/no choque usando un acelerómetro. Se analiza un sistema en el que se integra una salida de acelerómetro y se compara con un valor de umbral; cuando se excede el valor de umbral, se opera un sistema de retención (tal como un airbag). El documento US-5.436.838 señala que un sistema de este tipo no es bueno para la discriminación entre la conducción en carreteras irregulares y choques de poste y continúa analizando un sistema en el que se integra una señal de acelerómetro para formar una señal de velocidad y en el que las componentes de frecuencia de la señal del acelerómetro que aparecen únicamente en un choque de vehículo se extraen y se cuadran para producir una señal de energía de impacto. Se toma la decisión de operar un sistema de retención considerando tanto la señal de velocidad como la señal de energía de impacto. Los valores de umbral se calculan a partir de los datos de choque registrados.
- 20
- 25 También se conoce un aparato de monitorización para su fijación a un vehículo para monitorizar un vehículo. El aparato de monitorización puede incluir o recibir datos de un acelerómetro.

El documento US-6.790.778 B1 se refiere a un sistema de retención de pasajeros para un vehículo motorizado. El sistema de retención se activa si la suma de las señales de aceleración integradas ponderadas con un coeficiente de ponderación excede una suma mínima definida.

30

### Resumen

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un método para detectar una colisión usando un acelerómetro fijado a un vehículo como se define en la reivindicación 1 adjunta.

35

En otro aspecto, se proporciona un aparato para su fijación a un vehículo como se define en la reivindicación 13 adjunta. En un aspecto adicional, se proporciona un programa informático como se define en la reivindicación 15 adjunta.

40

Características y ventajas adicionales de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción de formas de realización preferidas de la invención, dadas solo a modo de ejemplo, que se hace con referencia a los dibujos adjuntos.

### 45 Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra una representación esquemática de un diagrama esquemático de un ejemplo de un aparato de monitorización para su fijación a un vehículo;

50 la Figura 2 es un diagrama de flujo de un ejemplo de un método para determinar si se ha producido una colisión de acuerdo con una forma de realización de la invención;

la Figura 3 muestra ejemplos de datos de aceleración y umbrales relativos para un automóvil que viaja a 137 km por hora (85 millas por hora) y está involucrado en una colisión; y

la Figura 4 muestra ejemplos de datos de aceleración y umbrales relativos para una motocicleta que viaja a 89 km por hora (55 millas por hora) y no está involucrada en una colisión.

55

### Descripción detallada

De acuerdo con una primera forma de realización, se proporciona un método para detectar una colisión usando un acelerómetro fijado a un vehículo. El método comprende:

- recibir datos de aceleración del acelerómetro a intervalos discretos;  
 sumar los datos de aceleración durante un periodo de tiempo para producir una aceleración acumulada;  
 determinar si se ha producido una colisión basada, al menos en parte, en una comparación de al menos una de la aceleración acumulada y una función de la aceleración acumulada con un umbral;
- 5 contar el número de puntos de datos de aceleración dentro del periodo de tiempo que excede un segundo umbral para producir un recuento; y  
 la determinación de si se ha producido una colisión se basa, además, al menos en parte, en el recuento.
- 10 Esto permite determinar una colisión de una manera relativamente sencilla. Los cálculos pueden ser operaciones de enteros. Esto hace que el método sea adecuado para dispositivos con una potencia de procesamiento limitada y/o permite que el método se repita en diferentes periodos de tiempo y/o valores de umbral sin un retraso significativo. En comparación con los métodos del documento US-5.436.838, el cálculo es más sencillo porque no se requiere integración. El método puede tener lugar continuamente, por ejemplo, trabajar en una ventana móvil de datos de
- 15 aceleración disponibles, o puede responder a otro evento, por ejemplo, cuando los datos de aceleración tienen una magnitud vectorial por encima de un cierto nivel o una o más magnitudes de componentes por encima de un cierto nivel para determinar si el aumento de magnitud es indicativo de que se ha producido una colisión.
- La determinación de si se ha producido una colisión se basa, además, al menos en parte, en el recuento. Esto
- 20 puede mejorar la detección de colisiones de baja velocidad. El segundo umbral puede ser un umbral absoluto o un umbral relativo y algunas formas de realización pueden usar recuentos de umbrales tanto absolutos como relativos.
- Los datos de aceleración pueden recibirse a intervalos de tiempo sustancialmente constantes, por ejemplo, una frecuencia de muestreo constante. Esto dependerá de la velocidad a la que el acelerómetro pueda enviar datos. Las
- 25 frecuencias de ejemplo incluyen aproximadamente 100 Hz y aproximadamente 1 kHz. Sin embargo, la invención no se limita a estas frecuencias. La elección de la frecuencia de muestreo dependerá de la potencia de procesamiento y los recursos de memoria disponibles, así como el coste y la capacidad del acelerómetro. En general, una frecuencia de muestreo más alta permite una detección más fiable.
- 30 La suma de los datos de aceleración puede usar una pluralidad de mediciones de aceleración consecutivas a lo largo del periodo de tiempo. El periodo de tiempo puede elegirse dependiendo de la escala de tiempo del evento a detectar. Los periodos de tiempo de ejemplo incluyen 50 ms, 100 ms, 250 ms, 500 ms o más.
- El primer umbral puede determinarse considerando un cambio de energía durante el periodo de tiempo que
- 35 probablemente puede causar lesiones a un ocupante del vehículo o daños al vehículo. El primer umbral puede estar predeterminado. Considerar un cambio de energía puede dar un buen indicador de la gravedad de una colisión para su uso en el umbral, y puede permitir la discriminación entre colisiones que dan como resultado lesiones o daños e impulsos resultantes de las condiciones de conducción, tal como coger un bache. Se ha encontrado que la acumulación de aceleración es una buena indicación del cambio de energía durante el periodo de tiempo. Por lo
- 40 tanto, el método se puede utilizar para cualquier evento en el que se conozca o se pueda calcular un cambio de energía durante un tiempo determinado. Por lo tanto, el primer umbral puede calcularse sin requerir datos de choque reales para un vehículo en particular, solo el conocimiento del cambio de energía, aunque en algunas formas de realización, los datos de choque reales pueden usarse para informar el cambio de energía usado para calcular el umbral.
- 45 El acelerómetro puede fijarse en un compartimento de pasajeros del vehículo y el primer umbral se determina entonces considerando un cambio de energía durante el periodo de tiempo que puede causar lesiones a un ocupante del vehículo. Al considerar los cambios de energía que pueden causar lesiones, se puede determinar una medición independiente del vehículo. El acelerómetro está dentro del compartimento de pasajeros y, por lo tanto,
- 50 experimenta una aceleración desde el punto de vista del ocupante del vehículo. Por ejemplo, el cambio de energía puede considerarse usando datos médicos de los impactos que pueden causar lesiones, y usando la masa típica de un adulto o niño para estimar el cambio de energía. Esto permite que la gravedad de la colisión detectada varíe dependiendo de los requisitos de una aplicación en particular.
- 55 El método puede simplificarse particularmente cuando el primer umbral se calcula utilizando la raíz cuadrada de un cambio de energía durante el periodo de tiempo que puede causar lesiones a un ocupante del vehículo o daños a un vehículo.

En algunas formas de realización, los datos de aceleración son un vector en dos o más ejes y la suma de los datos

de aceleración utiliza una magnitud del vector. En otras formas de realización, los datos de aceleración son un vector en dos o más ejes y la suma de los datos de aceleración utiliza la aceleración a lo largo de uno de los dos o más ejes. Los dos o más ejes pueden corresponder a la salida bruta de un acelerómetro o corresponder a los ejes en un marco de referencia del vehículo. Tener en cuenta la aceleración a lo largo de un eje puede ser beneficioso cuando el eje está orientado con un eje del vehículo. Por ejemplo, puede permitir que solo se detecten colisiones de frente o solo colisiones laterales.

Los datos de aceleración recibidos pueden modificarse restando un promedio de los datos de aceleración. Los datos de aceleración modificados se pueden utilizar entonces en la suma. Esto permite tener en cuenta las condiciones actuales de la carretera, por ejemplo, para acomodarse a superficies de carreteras irregulares o pendientes. El promedio puede ser la media aritmética y la modificación se puede aplicar antes de sumar los datos de aceleración. El promedio puede tomarse en cualquier periodo adecuado, incluyendo los ejemplos entre 2 y 60 segundos antes de los datos de aceleración, 60 segundos o menos, entre 10-20 segundos, entre 14-18 segundos y aproximadamente 16 segundos.

En algunas formas de realización, los datos de aceleración a sumar se almacenan en una memoria intermedia de tipo primero en entrar, primero en salir (FIFO, *First In First Out*) con un tamaño correspondiente al número de muestras de aceleración en el periodo de tiempo. Un ejemplo de una memoria intermedia FIFO es una memoria intermedia circular. Esto permite que la última muestra de aceleración se añada a la memoria intermedia de una manera computacionalmente eficiente.

El método puede comprender sumar los datos de aceleración durante un segundo periodo de tiempo para producir una segunda aceleración acumulada, solapando, al menos parcialmente, el segundo periodo de tiempo con el periodo de tiempo; y en el que la determinación de si se ha producido una colisión se basa, además, al menos en parte, en una comparación de la segunda aceleración acumulada con el primer umbral. El uso de una segunda aceleración acumulada de esta manera puede permitir una mejor detección de eventos cerca de los límites del periodo de tiempo.

Además de la comparación de la aceleración acumulada con el primer umbral, se pueden incluir factores adicionales en la determinación de si se ha producido una colisión.

En algunas formas de realización, la determinación de si se ha producido una colisión se basa, al menos en parte, en una determinación de si el vehículo está parado después de haber estado en movimiento. Por ejemplo, esta determinación podría derivarse integrando las mediciones de aceleración, a partir de una medición de velocidad, desde un sistema de posicionamiento por satélite o directamente a partir de los datos de velocidad proporcionados por el propio vehículo, tal como la transmisión de datos de velocidad a través de un CANBus.

En algunas formas de realización, la determinación de si se ha producido una colisión se basa, al menos en parte, en un cambio en la aceleración lineal estática con respecto a una aceleración lineal estática promedio.

En algunas formas de realización, la determinación de si se ha producido una colisión se basa, al menos en parte, en determinar un vector Tierra medido y comparar el vector Tierra medido con un vector Tierra previamente determinado. Por ejemplo, el vector Tierra se puede determinar a partir de las mediciones del acelerómetro determinando la dirección de la aceleración debida a la gravedad.

En algunas formas de realización, la determinación de si se ha producido una colisión se basa, al menos en parte, en una determinación de la dirección de la aceleración medida en relación con un marco de referencia del vehículo. Por ejemplo, se pueden considerar las aceleraciones en las direcciones lateral o de avance del vehículo, pero no las aceleraciones decrecientes. Esto puede evitar la detección de falsos positivos de impactos verticales que pueden ocurrir en carreteras irregulares o baches, por ejemplo.

En algunas formas de realización, en la suma de los datos de aceleración, solo se utilizan los datos de aceleración que exceden un tercer umbral. El tercer umbral puede ser un valor absoluto o un valor relativo, donde un valor relativo se determina basándose en los valores de al menos algunos de los datos de aceleración. El uso de un tercer umbral para filtrar los datos de aceleración de esta manera puede aumentar la precisión con los datos de aceleración recopilados a una frecuencia de muestreo relativamente baja. En algunas formas de realización, se pueden usar sumas para valores absolutos y relativos. El tercer umbral puede ser el mismo que el segundo umbral.

De acuerdo con otra forma de realización, se proporciona un aparato para su fijación a un vehículo. El aparato

comprende un sistema de procesamiento. El sistema de procesamiento está configurado para:

- 5 recibir los datos de aceleración a intervalos discretos;  
sumar los datos de aceleración recibidos durante un periodo de tiempo para producir una aceleración acumulada; y  
determinar si se ha producido una colisión basada, al menos en parte, en una comparación de al menos una de la aceleración acumulada y una función de la aceleración acumulada con un primer umbral.

10 El umbral puede determinarse considerando un cambio de energía durante el periodo de tiempo que probablemente puede causar lesiones a un ocupante del vehículo o daños al vehículo.

15 Los datos de aceleración pueden proceder de un acelerómetro fijado en un compartimiento de pasajeros del vehículo en uso y el umbral puede determinarse considerando un cambio de energía durante el periodo de tiempo que puede causar lesiones a un ocupante del vehículo. El acelerómetro puede ser externo al aparato o incluirse en el aparato. Si el acelerómetro está incluido en el aparato, entonces el aparato puede fijarse en el compartimiento de pasajeros del vehículo en uso.

20 El primer umbral puede ser la raíz cuadrada de un cambio de energía durante el periodo de tiempo que puede causar lesiones a un ocupante del vehículo o daños al vehículo.

Los datos del acelerómetro pueden ser un vector en dos o más ejes y el sistema de procesamiento puede configurarse para usar una magnitud del vector en la suma de los datos de aceleración.

25 Los datos de aceleración pueden ser un vector en dos o más ejes y el sistema de procesamiento puede configurarse para usar la aceleración a lo largo de uno de los dos o más ejes en la aceleración acumulada.

30 El sistema de procesamiento puede configurarse para modificar los datos de aceleración recibidos restando un promedio de la aceleración medida, y puede usar los datos de aceleración modificados en la suma. El sistema de procesamiento puede configurarse para calcular el promedio de los datos de aceleración durante un tiempo de entre 2 y 60 segundos antes de la aceleración acumulada.

En algunas formas de realización, el aparato puede comprender una memoria intermedia de tipo primer o en entrar primero en salir con un tamaño correspondiente al número de muestras de aceleración en el periodo de tiempo.

35 El sistema de procesamiento puede configurarse para:

- 40 sumar los datos de aceleración durante un segundo periodo de tiempo para producir una segunda aceleración acumulada, superponiendo, al menos parcialmente, el segundo periodo de tiempo con el periodo de tiempo; y  
determinar si se ha producido una colisión basándose, al menos en parte, en una comparación de la segunda aceleración acumulada con el primer umbral.

45 El sistema de procesamiento puede configurarse para determinar si se ha producido una colisión basándose, al menos en parte, en una determinación de si el vehículo está parado, después de haber estado en movimiento.

El sistema de procesamiento puede configurarse para determinar si se ha producido una colisión basándose, al menos en parte, en un cambio en la aceleración lineal estática con respecto a una aceleración lineal estática promedio.

50 El sistema de procesamiento puede configurarse para determinar si se ha producido una colisión basándose, al menos en parte, en la determinación de un vector Tierra medido y comparando el vector Tierra medido con un vector Tierra previamente determinado.

55 El sistema de procesamiento puede configurarse para determinar si se ha producido una colisión basándose, al menos en parte, en una determinación de la dirección de la aceleración medida con respecto a un marco de referencia del vehículo.

En otra forma de realización de la invención, se proporciona un vehículo que tiene un aparato como se ha analizado anteriormente fijado a éste. El vehículo puede comprender un acelerómetro fijado en un compartimiento de

pasajeros del vehículo.

El sistema de procesamiento descrito anteriormente puede comprender al menos un procesador y una memoria que almacena un conjunto de instrucciones informáticas.

5

Puede proporcionarse un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que almacena un programa informático como se ha descrito anteriormente.

Con referencia ahora a los dibujos, la Figura 1 muestra una representación esquemática de un diagrama esquemático de un ejemplo de un aparato de monitorización en el que se pueden implementar formas de realización de la presente invención.

10

El aparato de monitorización 2 de la Figura 1 comprende un procesador 4, un almacenamiento 6, un acelerómetro 8, un receptor de posicionamiento por satélite 10, una antena de posicionamiento por satélite 12, un sistema de comunicación inalámbrica 14, una antena de comunicación inalámbrica 16 y una RAM 18.

15

El procesador 4 puede ser cualquier dispositivo capaz de ejecutar instrucciones, por ejemplo, un microprocesador, un microcontrolador o un circuito integrado de aplicaciones específicas. El procesador está conectado al almacenamiento 6, el acelerómetro 8, el receptor de posicionamiento por satélite 10, el sistema de comunicación inalámbrica 14 y la RAM 18 mediante interfaces respectivas, lo que permite al procesador 4 transferir datos con el almacenamiento 6, el acelerómetro 8, el receptor de posicionamiento por satélite 10 y el sistema de comunicación inalámbrica 14.

20

El almacenamiento 6 puede ser cualquier almacenamiento no volátil o persistente que conserve los datos almacenados en él cuando no se aplique alimentación. Los ejemplos incluyen uno o más dispositivos de memoria Flash y almacenamiento magnético, tal como una o más unidades de disco duro. El almacenamiento 6 almacena instrucciones implementables por ordenador que pueden ser leídas y ejecutadas por el procesador 4. El almacenamiento 6 también almacena los parámetros de configuración y otra información. En algunas formas de realización, el almacenamiento 6 también se puede usar para registrar datos del acelerómetro y del sistema de posicionamiento por satélite.

30

El acelerómetro 8 es un sensor de aceleración que transmite una aceleración instantánea a lo largo de al menos un eje. En esta forma de realización, el sensor de aceleración es un sensor de aceleración de tres ejes que transmite una aceleración instantánea a lo largo de tres ejes ortogonales entre sí. En otras formas de realización, la aceleración en tres ejes puede proporcionarse por tres sensores de aceleración separados orientados ortogonalmente entre sí. El acelerómetro 8 proporciona al procesador 4 mediciones de aceleración instantáneas a una frecuencia constante. Por ejemplo, el acelerómetro proporciona al procesador 4 mediciones de aceleración a una frecuencia de 100 Hz en algunas formas de realización. En otras formas de realización, se puede proporcionar un acelerómetro que es externo al aparato de monitorización; en ese caso, se puede proporcionar una interfaz de datos de aceleración al procesador 4 para recibir datos del acelerómetro externo.

40

El receptor de posicionamiento por satélite 10 proporciona la velocidad y rumbo al procesador 4 a una frecuencia constante. Se puede utilizar cualquier forma de posicionamiento por satélite, por ejemplo, GPS, GLONASS o Galileo. En esta forma de realización, el receptor de posicionamiento satelital recibe señales satelitales de posicionamiento a través de la antena 12 y envía señales correspondientes a los datos de posición, velocidad y rumbo al procesador 4 a una frecuencia de 1 Hz. En otras formas de realización, la frecuencia a la que se proporcionan estos datos al procesador puede ser diferente, por ejemplo, superior o inferior a 1 Hz. En otras formas de realización, el receptor de posicionamiento por satélite 10 y la antena de posicionamiento interna 12 pueden reemplazarse con una interfaz de posicionamiento para el procesador 4 que recibe datos de velocidad, posición y rumbo desde una fuente externa, tal como un sistema de navegación incorporado en el vehículo.

50

El sistema de comunicación inalámbrica 14 y su antena asociada 16 permiten que el procesador se comunique de forma inalámbrica con otros dispositivos. Por ejemplo, los datos del acelerómetro 8 y el receptor de posicionamiento por satélite 10 pueden transmitirse utilizando el sistema de comunicación inalámbrica 14. Se puede usar cualquier sistema de comunicación inalámbrica adecuado. Sin embargo, se prefiere utilizar un sistema con buena cobertura geográfica. En esta forma de realización, el sistema de comunicación inalámbrica 14 es un sistema de comunicación GSM. Puede transmitir y/o recibir datos usando conexiones de datos inalámbricas y/o mensajes SMS, dependiendo del volumen y el tipo de datos requeridos para la transmisión. Otras formas de realización pueden utilizar otros tipos de sistemas de comunicación inalámbrica, por ejemplo, los siguientes estándares definidos por 3GPP, tal como el

55

denominado 3G, Evolución a Largo Plazo o Evolución Avanzada a Largo Plazo. Otras formas de realización pueden usar CDMA, comunicación por satélite, radios VHF y otros sistemas de comunicación inalámbrica.

5 En funcionamiento normal, el procesador 4 recibe datos del acelerómetro del acelerómetro 8 a 100 Hz y datos de velocidad y rumbo del sistema de posicionamiento por satélite 10 a 1 Hz. En otras formas de realización, los datos de aceleración y los datos de velocidad y rumbo pueden recibirse a diferentes velocidades, por ejemplo, a velocidades más altas. Estos datos se almacenan en una memoria intermedia en la RAM 18 o en el almacenamiento 6 hasta que la memoria intermedia está llena. Cuando la memoria intermedia está llena, los datos se transmiten utilizando el sistema de transmisión inalámbrica 14 para el almacenamiento y procesamiento externos.

10 Algunas formas de realización reducen el volumen de datos para la transmisión y el almacenamiento al no registrar todos los datos proporcionados al procesador. Por ejemplo, el acelerómetro se puede registrar a una velocidad de 10 Hz. En dichas formas de realización, los datos pueden reducirse de cualquier manera adecuada. Por ejemplo, algunos datos pueden simplemente descartarse o puede almacenarse un promedio de varios valores. Otras formas de realización pueden registrar datos a diferentes velocidades.

20 Sería deseable utilizar los datos producidos por el aparato de monitorización 2 para detectar eventos de alto impacto o colisiones que afecten al vehículo al que está fijado el aparato de monitorización. Están disponibles diversas opciones cuando se detecta una colisión. En una forma de realización, la detección de una colisión permite la grabación en la caja negra del entorno circundante de la colisión, permitiendo así que se reconstruyan las circunstancias que conducen a la colisión y durante la misma. En otra forma de realización, las colisiones se pueden informar automáticamente a un servidor a través del sistema de comunicación inalámbrica 14. El servidor puede entonces proporcionar una notificación a, por ejemplo, un asegurador o propietario del vehículo, incluso en ausencia de un informe realizado por el usuario del vehículo.

25 En algunas formas de realización, los servicios de emergencia pueden ser notificados automáticamente, ya sea por el servidor o por el propio aparato de monitorización. Como se analizará más adelante, las formas de realización de la invención permiten controlar muchos criterios a monitorizar para detectar colisiones; se puede hacer una distinción entre la gravedad de una colisión detectada y cualquier notificación que se realice como resultado. Al igual que con todos los informes de este tipo, se debe encontrar un equilibrio entre los falsos positivos (donde los eventos de conducción normales se identifican como posibles colisiones, tal como la conducción sobre pasos con rejillas para ganado o baches) y los falsos negativos (que no detectan un evento de colisión real). Algunas formas de realización de la invención permiten que los criterios de detección varíen dependiendo de los requisitos de una aplicación particular.

30 A continuación, se explicará la teoría que subyace a ciertos ejemplos de formas de realización de la invención. En el siguiente análisis, el eje x está en avance a lo largo del vehículo, el eje y es lateral con respecto a la dirección normal de recorrido del vehículo, y el eje z se aleja de la Tierra (en la dirección ascendente, aunque el eje z también puede estar hacia la Tierra en la dirección descendente) siendo el valor normal de z de magnitud 1g. Se supone que el acelerómetro está lo suficientemente bien calibrado y no se requiere una calibración adicional del acelerómetro. Las formas de realización de la invención son muy adecuadas para la implementación en dispositivos con recursos y potencia de procesamiento limitados. Por ejemplo, el aparato de monitorización puede tener relativamente poca RAM y/o potencia de procesamiento. Sin embargo, algunas formas de realización de la invención pueden implementarse en tiempo real por un aparato de monitorización con recursos relativamente bajos.

35 Dependiendo del aparato de monitorización particular 2, pueden estar disponibles diferentes datos para el procesador 4. Por ejemplo, los datos de aceleración pueden no almacenarse a la velocidad máxima a la que se generan debido a las limitaciones de la memoria o el almacenamiento de datos. En algunas formas de realización, el aparato de monitorización 2 conoce la aceleración promedio medida en cada eje del acelerómetro. Esta aceleración promedio es de "largo plazo" en comparación con el periodo entre muestras individuales. Por ejemplo, en una forma de realización de ejemplo, el aparato de monitorización 2 puede contener un promedio de los últimos 16 segundos de datos de aceleración.

40 En algunas formas de realización, el aparato de monitorización puede conocer su orientación con respecto al vehículo en el que está instalado. La orientación se puede conocer instalando el aparato de monitorización en una orientación específica o determinando la orientación después de la instalación. Se pueden utilizar diversos métodos para determinar la orientación después de la instalación y se pueden realizar local o remotamente. Por ejemplo, el aparato de monitorización puede almacenar un conjunto de vectores unitarios que se pueden usar para transformar los datos del acelerómetro en los ejes del vehículo para que la aceleración se exprese en el marco de referencia del

vehículo. Un método de ejemplo para determinar la orientación después de la instalación utiliza primero los datos del acelerómetro para determinar una dirección descendente. Los periodos de aceleración directa se identifican entonces utilizando datos de velocidad y rumbo, por ejemplo, de un receptor de posicionamiento por satélite. Los datos de aceleración correspondientes a una aceleración directa se seleccionan entonces y se someten al análisis de componentes principales para determinar la dirección de avance del vehículo. Finalmente, se usa un producto cruzado de la dirección ascendente y descendente para calcular una dirección lateral. Se dan más ejemplos de métodos para calcular la orientación en la Solicitud PCT pendiente junto con la presente N.º PCT/GB2014/051379 titulada "Method, System and Computer Program for Determining the Orientation of an Apparatus".

10 Aunque las formas de realización son adecuadas para entornos de recursos limitados, los métodos también se pueden usar con un hardware más potente, por ejemplo, acelerómetros que generan datos a velocidades de muestreo más altas (por ejemplo, 1 kHz y superior) y posiblemente con un rango de detección adicional (por ejemplo, ±16g) y más memoria. Los principios generales de detección de colisiones seguirán siendo los mismos, pero puede ser posible una detección más compleja con los recursos adicionales disponibles.

15 Las formas de realización de la invención consideran colisiones desde el punto de vista del cambio de energía experimentado durante la colisión o una parte de la colisión. Éste puede ser, por ejemplo, el cambio de energía cinética experimentado por el ocupante o el vehículo en lugar de (o además de) la aceleración máxima observada.

20 Se sabe que la energía cinética

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

donde  $v$  es un vector tridimensional ( $v_x, v_y, v_z$ ) de velocidad. Después de cualquier cambio de velocidad, por lo tanto, el cambio en la energía cinética es:

$$\Delta E = \frac{1}{2} m \cdot (v_{final}^2 - v_{inicial}^2) \quad (1)$$

25 Si bien los datos de velocidad (como una magnitud de la velocidad) están disponibles para el aparato de monitorización, solo pueden estar disponibles a una velocidad relativamente lenta, por ejemplo, tan baja como una vez por segundo cuando se usa un sistema de posicionamiento por satélite. En general, un acelerómetro puede proporcionar datos a una velocidad más alta que un sistema de posicionamiento. Las formas de realización de la

30 invención utilizan datos de acelerómetro.

Formalmente:

$$\Delta v = (v_{final} - v_{inicial}) = \int_0^t a(t) \cdot dt$$

35 Con medidas discretas de aceleración a intervalos de  $\Delta t$  esto se convierte en:

$$\Delta v = \sum_{i=0}^t a_i \cdot \Delta t \quad (2)$$

Dado el conocimiento de  $v_{inicial}$ , la Ecuación (2) permite calcular  $v_{final}$  y resolver la Ecuación (1). Es posible utilizar los datos de velocidad disponibles para el aparato de monitorización para esto. Por ejemplo, un sistema de  
40 posicionamiento por satélite puede transmitir datos de velocidad una vez por segundo. El impacto previo es relativamente estable, lo que permite que se use como una buena medida para  $v_{inicial}$ . Sin embargo, es posible una simplificación si se puede suponer que la velocidad inicial o final es cero.

Ahora se describirá una simplificación cuando se sabe que la velocidad inicial es cero. Cuando se sabe que  $v_{inicial}$  es  
45 0, la Ecuación (1) anterior se reduce a

$$\Delta E = \frac{1}{2} m \cdot (v_{final}^2)$$

o como alternativa,

$$\Delta E = \frac{1}{2} m \cdot \Delta v^2 \quad (3)$$

por lo tanto, a partir de la Ecuación (2)

$$\Delta E_t = \frac{1}{2} m \cdot \left( \sum_{i=0}^t a_i \cdot \Delta t \right)^2$$

$\Delta t$  es fijo en los cálculos, por lo que puede sacarse de la suma:

$$\Delta E_t = \frac{1}{2} m \cdot \Delta t^2 \cdot \left( \sum_{i=0}^t a_i \right)^2 \quad (4)$$

5

Por lo tanto, la Ecuación (4) permite detectar una colisión si  $\Delta E_t$  está por encima de un umbral dado. La misma simplificación se aplica si, como alternativa,  $v_{final}$  es 0, excepto por un signo menos. En la práctica, esto es irrelevante porque lo que importa es la magnitud del cambio de energía y no su signo. Por lo tanto, se determina que se detectará una colisión si  $|\Delta E_t|$  está por encima de un umbral dado.

Los datos de aceleración tomados directamente del acelerómetro incluyen la aceleración debida a la gravedad. Además, pueden estar presentes compensaciones de cero g si, por ejemplo, el acelerómetro es un acelerómetro del sistema microelectromecánico (MeM). La precisión de la detección de colisiones puede mejorarse si se eliminan la aceleración debida a la gravedad y las compensaciones de cero g. Una forma de explicar la gravedad es eliminar una aceleración promedio a largo plazo, en formas de realización en las que se dispone de aceleración a largo plazo. Por lo tanto,

15

$$a_i = (a_x - \bar{a}_x, a_y - \bar{a}_y, a_z - \bar{a}_z) \quad (5)$$

en cualquier momento t (donde  $a$  = la aceleración promedio a largo plazo). Un beneficio adicional es que esto puede explicar las condiciones actuales de la carretera, por ejemplo, una inclinación en la carretera.

20

Las aceleraciones leídas a partir de los datos del acelerómetro pueden escalarse de unidades de g donde  $1g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ .

25 En otras formas de realización, si los datos de aceleración se expresan en términos de datos del vehículo, una forma de contabilizar la gravedad es usar solo los componentes de la aceleración en la dirección de avance del vehículo y la dirección lateral del vehículo.

Las formas de realización de la invención proporcionan un método para determinar si se ha producido una colisión usando datos del acelerómetro. Ahora se mostrará cómo se puede simplificar aún más el método en algunas formas de realización determinando un valor de umbral apropiado. Primero, se encuentra el valor de  $\Delta E_t$ . Una primera opción para hacer esto es considerar el cambio de energía en el vehículo. Una segunda opción para hacer esto es considerar el cambio de energía visto por el pasajero o los pasajeros del vehículo.

30

Desde el punto de vista de la evaluación de la gravedad de una colisión, es útil cualquiera de la primera o la segunda opción. Sin embargo, el acelerómetro utilizado por el aparato de monitorización típicamente se coloca dentro del compartimiento de pasajeros protegido del vehículo y, por lo tanto, a menudo está aislado de las fuerzas más fuertes observadas por los extremos del vehículo. En cambio, el acelerómetro experimenta fuerzas que se corresponden a las experimentadas por los pasajeros del vehículo. Por lo tanto, la segunda opción se desarrollará adicionalmente como un ejemplo del uso de cambios de energía en la detección de colisiones a partir de las señales del acelerómetro. La invención no se limita a esto y se apreciará que pueden considerarse otros cambios de energía.

35

En este ejemplo, el valor de masa en la ecuación (4) anterior es, por lo tanto, el de un pasajero individual o parte de un pasajero que puede resultar lesionado. Teniendo en cuenta que la masa del pasajero tiene una ventaja adicional: es independiente de la masa del vehículo. La variación en la masa de diferentes tipos de vehículos es mayor que la variación en la masa de los pasajeros. Por ejemplo, el vehículo puede tener la masa de un vehículo urbano pequeño (por ejemplo, aproximadamente 800 kg sin carga) hasta una masa de un camión de 7,5 toneladas cargado (por ejemplo, una masa superior a 8000 kg) o más. Por lo tanto, la variación en la masa del vehículo en la que se pueden usar las formas de realización de la presente invención puede ser tan alta como un factor de diez o más. En comparación, se puede utilizar la masa de un adulto normal (aproximadamente 70 kg) o la de una cabeza humana (aproximadamente 4,5 kg para adultos, 1,5 kg para niños). Aunque diferentes personas tienen diferentes pesos, la variabilidad en el peso humano es mucho menor que la de los vehículos, especialmente cuando se considera un adulto normal o típico.

45

50

Otra ventaja es que existe evidencia médica que sostiene que, especialmente en el caso de las lesiones en la cabeza, los cambios en la energía cinética son más importantes que la desaceleración máxima (por ejemplo, véase Archives of Disease in Childhood 1997; 76:393-397 Head injury - abuse or accident, Wilkins, en lo sucesivo en el presente documento denominado como Wilkins").

Hacer las simplificaciones para llegar a la ecuación (4) requiere que  $v_{inicial}$  o  $v_{final}$  sea 0. En una colisión grave es probable que el vehículo se detenga por completo. Sin embargo, habrá colisiones menos graves cuando el vehículo continúe moviéndose y situaciones en las que haya una larga cola o una secuencia de movimiento antes de que el vehículo se detenga. Estas situaciones se pueden explicar con mayor facilidad cuando se considera la energía desde el punto de vista de un ocupante del vehículo y que permanece dentro del vehículo la duración del evento de impacto o colisión. El vehículo en el que viaja el pasajero es un marco de referencia inercial y son las fuerzas, el impulso y el cambio de energía cinética visto por el pasajero con respecto a este marco de referencia lo que importa desde el punto de vista de una lesión o daño. Cuando el acelerómetro se monta dentro del compartimiento de pasajeros, medirá la aceleración en este marco de referencia. (Las aceleraciones seguirán siendo relativas al marco de referencia del vehículo incluso si los datos del acelerómetro no están orientados a los ejes del vehículo).

Antes del inicio de una colisión, el ocupante no se está moviendo en relación con el vehículo. La velocidad,  $v_{inicial}$ , relativa al marco de referencia del vehículo es 0, lo que permite las simplificaciones que dieron como resultado la Ecuación (4) anterior. (Se debe tener en cuenta que la misma consideración puede aplicarse al vehículo en su totalidad en las formas de realización donde se considera el daño al vehículo).

Se dará un ejemplo de cálculo de un valor para  $\Delta E_t$ . Esto comienza con la Ecuación (4):

$$\Delta E_t = \frac{1}{2} m \cdot \Delta t^2 \cdot \left( \sum_{i=0}^t a_i \right)^2 \quad (4)$$

Para cualquier situación particular,  $m$  es un factor de escala fijo, por lo que se puede establecer en 2 para simplificar los cálculos. La masa real puede entonces permitirse en el valor de umbral de energía. De manera similar,  $\Delta t$  es un valor fijo, por lo que se puede establecer en 1 para simplificar. Al igual que con  $m$ , el valor real de  $\Delta t$  (0,01 s para datos del acelerómetro de 100 Hz) puede permitirse para el valor de umbral de energía final.

Finalmente, en la Ecuación (4)  $a_i$  está en  $ms^{-2}$ . En realidad,  $a_i$  como se expresa en el acelerómetro, los datos se escalan. De nuevo, este valor de escala es fijo y se convierte en otro factor de multiplicación fijo fuera de la suma que se puede permitir en el valor de umbral de energía. Por lo tanto, utilizando estos supuestos, la Ecuación (4) se simplifica a

$$\Delta E_t = \left( \sum_{i=0}^t a_i \right)^2 \quad (6)$$

donde  $a_i$  se calcula usando la Ecuación (5) (corrigiendo la aceleración promedio).

En el método de esta forma de realización, el factor relevante es si la magnitud del cambio de energía está por encima de un valor de umbral predeterminado dado. Esto permite una simplificación adicional tomando la raíz cuadrada de (6).

$$\begin{aligned} \text{Umbral} &= \sqrt{\Delta E_t} \\ &= \sum_{i=0}^t a_i \quad (7) \end{aligned}$$

El umbral

$$\sqrt{\Delta E_t}$$

se calcula previamente utilizando los valores apropiados. Se ha de tener en cuenta que debido a que  $a_i$  ya no está al cuadrado, se debe considerar el módulo para evitar el efecto de un posible valor negativo.

Por lo tanto, el método de esta forma de realización permite detectar colisiones de una manera computacionalmente eficiente. El cálculo se realiza preferiblemente en tiempo real durante cualquier periodo de tiempo sujeto a suficiente RAM u otra memoria para almacenar la serie del tiempo de aceleración. Por ejemplo, algunas formas de realización pueden usar una ventana deslizante, recalculando la suma de aceleraciones cada vez que se reciben nuevos datos de aceleración.

La RAM disponible u otros recursos de procesamiento y memoria pueden estar limitados en algunas formas de realización, por lo que no es posible una ventana deslizante. En estas formas de realización pueden usarse diversas estrategias.

En un primer ejemplo de estrategia de recursos limitados,  $\Delta E_t$  se calcula continuamente, pero en un periodo de tiempo  $t$  más corto dentro de los límites de la memoria RAM disponible u otra memoria. En general, esto puede pasar por alto eventos que ocurren en una escala de tiempo más larga.

En un segundo ejemplo de estrategia de recursos limitados, se puede calcular una serie sucesiva de valores de  $\Delta E_t$  para periodos de tiempo  $t$  más largos (por ejemplo,  $t = 250$  ms). Esto proporciona una mejor detección de las colisiones que se producen en una escala de tiempo más larga, pero a costa de eventos posiblemente perdidos que tienen lugar a través de los límites. Esta desventaja puede reducirse en algunas formas de realización calculando conjuntos de  $\Delta E_t$  a intervalos  $\Delta T$  con cada nuevo cálculo de  $\Delta E_t$  que comienza con la compensación del anterior en un tiempo que está por debajo del periodo del cálculo  $t$ . Por ejemplo: calcular  $\Delta E_{t=250\text{ ms}}(0\text{ ms})$ ,  $\Delta E_{t=250\text{ ms}}(50\text{ ms})$  y  $\Delta E_{t=250\text{ ms}}(100\text{ ms})$  donde  $\Delta E_{t=250\text{ ms}}(T)$  significa el cambio de energía cinética visto durante un periodo de 250 ms que comienza en el tiempo  $T$ .

Algunas formas de realización pueden usar bloques de parámetros para permitir que un cálculo general en el aparato de monitorización se calibre con valores particulares de  $t$  y  $\Delta T$ .

En formas de realización en las que se conoce la orientación de los datos del acelerómetro con respecto a los ejes del vehículo, los valores por eje de  $\Delta E_t$  pueden calcularse cada uno con su propio umbral. Dichas formas de realización podrían explicar un impacto en una dirección particular que requiere menos energía para causar lesiones.

Se describirá ahora un ejemplo de determinación de un valor adecuado de  $\Delta E_t$ . Este ejemplo considera el riesgo de lesiones en la cabeza para un niño pequeño. Los adultos generalmente son menos susceptibles a tales lesiones, por lo que es probable que el riesgo de lesiones para un niño pequeño dé como resultado un umbral inferior al que sería aplicable para un adulto. Otras formas de realización pueden usar consideraciones de energía específicas para su aplicación. Por ejemplo, una consideración desde el punto de vista de un adulto puede ser más apropiada para un vehículo comercial en el que los ocupantes solo sean adultos.

De acuerdo con Wilkins, una lesión en la cabeza en niños solo ocurre raramente en caídas inferiores a 1,5 m. En este ejemplo, se usará el cambio en la energía cinética implicada en una cabeza que cae desde 1,5 m sobre el hormigón para determinar un umbral sobre el cual es probable que se produzcan lesiones. Por lo tanto: altura de caída = 1,5 m, masa de la cabeza del niño = 1,5 kg, y velocidad antes de la caída =  $0\text{ ms}^{-1}$ . La velocidad inmediatamente antes del impacto se puede calcular combinando las ecuaciones estándar

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

y

$$v = a \cdot t$$

dando

$$v = \sqrt{2as}$$

50

La energía cinética de la cabeza inmediatamente antes del impacto es el cambio de energía observado durante el impacto

$$\Delta E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} m \cdot 2as = m \cdot a \cdot s$$

55 Por lo tanto, en el ejemplo donde  $m = 1,5\text{ kg}$ ,  $a = g = 9,81\text{ ms}^{-2}$ ,  $s = 1,5\text{ m}$ :

$$\Delta E = 22 \text{ Julios}$$

La escala temporal en la que se produce este cambio de energía también debe estimarse. Los eventos de impacto muy alto se terminan rápidamente, típicamente en el orden de milisegundos a decenas de milisegundos. Por lo tanto, en este ejemplo,  $\Delta E$  se calcula durante 50 ms en primera instancia, y se determina que la colisión a tenido lugar si el cambio de energía es mayor de 22 J durante este periodo.

En este ejemplo, los datos de aceleración se reciben como muestras de 100 Hz (cada muestra cubre 10 ms), por lo que cinco muestras equivalen a 50 ms. Las cinco muestras requeridas se recogen en una memoria intermedia FIFO, por ejemplo, una memoria intermedia circular que contiene 5 valores instantáneos almacenados de  $a_i$ .

Siguiendo la Ecuación (7):

$$\begin{aligned} \text{Umbral}_{50ms} &= \sqrt{\Delta E_{50ms}} \\ &= \sum_{i=0}^4 a_i \end{aligned} \quad (8)$$

Para minimizar el procesamiento requerido, el umbral de energía de 22 J se puede escalar previamente para dar un umbral que permita que los cálculos en tiempo real del aparato de monitorización se realicen únicamente como aritmética de enteros en las unidades de almacenamiento interno de la aceleración  $a$ . Por ejemplo, la escala puede ser

$$\sqrt{\frac{2}{m \cdot \Delta t^2}}$$

si  $a_i$  está en  $\text{ms}^{-2}$ . En algunas formas de realización, los datos de aceleración pueden estar en cualquier unidad arbitraria. Por ejemplo,  $a_i$  puede expresarse en unidades donde  $1g = 256$ . En ese caso, un factor de escala adicional de

$$\sqrt{\frac{256}{9,81}}$$

puede aplicarse al umbral de energía. En otras formas de realización con diferentes valores utilizados para el cálculo del umbral de energía y/o diferentes unidades del acelerómetro, estos valores de escala se ajustan según sea apropiado.

Otras formas de realización pueden determinar si se ha producido una colisión usando diferentes factores en la determinación del cambio de energía para llegar al umbral. Todo lo que se requiere es determinar el cambio de energía relevante. El principio sigue siendo el mismo, pero con diferentes umbrales de energía y diferentes periodos de cálculo dependiendo de la duración del evento.

Habiendo considerado algunos ejemplos específicos, el método general de la invención se describirá ahora con referencia a la Figura 2. Primero, en la etapa 100, se registran los datos de aceleración; por ejemplo, los datos de aceleración se pueden recibir desde un acelerómetro interno o externo. A continuación, en la etapa 102, los datos de aceleración recibidos se corrigen para la aceleración promedio a largo plazo, por ejemplo, la aceleración promedio en los últimos 16 segundos. Esto puede usar la ecuación (5) en una forma de realización. Algunas formas de realización pueden omitir la etapa 102.

A continuación, en la etapa 104, la aceleración se puede transformar en los ejes del vehículo. Algunas formas de realización pueden invertir el orden de la etapa 102 y 104. Otras formas de realización pueden omitir la etapa 104, por ejemplo, si no se conocen los datos de orientación.

La ejecución avanza entonces a la etapa 106, donde se calcula una suma de los datos de aceleración corregidos y orientados a lo largo del periodo de tiempo en cuestión. En algunas formas de realización, esto puede considerar la magnitud del vector, mientras que en otras formas de realización puede considerarse un eje o ejes particulares. En el ejemplo anterior, el periodo de tiempo es de 50 ms. Esto proporciona la aceleración acumulada que después se compara con el umbral predeterminado en la etapa 108. Si la aceleración acumulada es mayor que el umbral, se determina que se produjo una colisión en la etapa 110. Esto puede entonces informarse a un servidor o un servicio

de emergencia, o activar el almacenamiento de valores en el almacenamiento 6 para su posterior análisis. De lo contrario, si la aceleración acumulada es menor que el umbral en la etapa 108, la ejecución regresa a la etapa 100 para continuar con la monitorización de colisiones.

5 Algunas formas de realización pueden implementar este método contra múltiples criterios y ventanas de tiempo, por ejemplo, determinando una colisión relativamente menor utilizando un primer umbral y un primer periodo de tiempo, mientras que también se determinan colisiones más graves utilizando un segundo umbral y un segundo periodo de tiempo. En formas de realización con informes automáticos, algunos de, y no todos, los criterios pueden dar lugar a un informe automático para un servicio o servidor de emergencia o similar.

10

Las formas de realización adicionales pueden usar el método descrito anteriormente en combinación con otros factores para determinar una colisión, de modo que la determinación no se base únicamente en el método de cambio de energía analizado anteriormente. Los factores adicionales a considerar incluyen cambios de aceleración lineal generales y la velocidad.

15

Cuando se consideran otros factores, las formas de realización de ejemplo pueden determinar que se ha producido una colisión cuando:

1)  $\Delta E_i$  por encima de un primer umbral; o

20

2)  $\Delta E_i$  está por encima de un segundo umbral, inferior al primer umbral, Y el vehículo ha dejado de moverse después de haber estado en movimiento previamente; o

3)  $\Delta E_i$  está por encima de un tercer umbral, inferior al primer umbral y posiblemente igual al segundo umbral, Y la orientación del vehículo medida por la aceleración lineal estática ahora cambia significativamente de la aceleración promedio a largo plazo observada antes del evento. Esto puede indicar que el vehículo se ha volcado.

25

Un ejemplo de cómo determinar este cambio en la aceleración lineal estática es, en una base por eje por muestra, determinar si la aceleración instantánea actual está más de  $\langle a \rangle$  alejada de la aceleración promedio a largo plazo para ese eje. Si es así, se aumenta un contador por eje. Si no es así, se borra el contador por eje.

30

Si cualquier contador por eje alcanza un valor de umbral  $\langle t \rangle$ , lo que significa que ha habido  $\langle t \rangle$  muestras sucesivas de 100 Hz de aceleración más de  $\langle a \rangle$  alejada del promedio a largo plazo en ese eje, se determina un cambio significativo.

Los valores para  $\langle a \rangle$  y  $\langle t \rangle$  son configurables. Los valores ejemplares pueden ser  $\langle a \rangle = 2g$  y  $\langle t \rangle = 3$ .

35

En formas de realización donde se conoce la orientación de los datos del acelerómetro con respecto a los ejes del vehículo, el sistema puede tener valores por eje para  $\langle a \rangle$  y  $\langle t \rangle$ .

4) El vector Tierra medido ha girado aproximadamente 180 grados (medido en comparación con la aceleración lineal a largo plazo) en cualquier punto, lo que indica una vuelta del vehículo.

5)  $\Delta E_i$  está por encima de un cuarto umbral, inferior al primer umbral y posiblemente igual al segundo y/o tercer umbral, Y la dirección de la aceleración indica un impacto lateral o frontal en lugar de vertical.

40

En formas de realización donde se conoce la orientación de los datos del acelerómetro con respecto al vehículo, se puede determinar que los eventos particulares son una colisión considerando si la dirección de los vectores de aceleración observados indica una conducción normal en oposición a un impacto con un obstáculo u otro vehículo, por ejemplo, impactos debidos a la conducción en superficies irregulares.

Un ejemplo es diferenciar entre coger un bache, una rejilla de ganado o conducir por una calle empedrada (donde el eje principal de aceleración es vertical y hacia atrás al mismo tiempo; los impactos pueden tener un componente hacia atrás porque el obstáculo es una obstrucción en la dirección del movimiento) en comparación con las colisiones con otro vehículo u obstáculo (donde el eje principal de aceleración es horizontal desde el lateral, parte delantera o parte trasera). Esto permite una forma de realización adicional utilizando una combinación de factores para determinar una colisión. Por ejemplo, se detecta una colisión.

50

Se ha identificado que la metodología de cambio de energía analizada anteriormente es menos eficaz cuando la velocidad a la que se recopilan los datos de aceleración es relativamente baja. En ese caso, se ha encontrado que la precisión de detección de colisiones se mejora al filtrar los datos de aceleración para incluir solo muestras con una magnitud mayor de un umbral. Ahora se describirán las formas de realización que utilizan este enfoque. En general, estas formas de realización utilizan uno o más de:

55

- Recuento de un número de muestras que están por encima de un umbral (ya sea un umbral absoluto o relativo) en un periodo de tiempo. El recuento de muestras por encima de un umbral detectará aumentos relativamente pequeños por encima del umbral y puede indicar una colisión a baja velocidad; y

- Sumar el valor absoluto de las muestras que están por encima de un umbral (ya sea un umbral absoluto o relativo, y puede ser el mismo o diferente del umbral para determinar las muestras a contar si también se usa el recuento) en un periodo de tiempo. La suma puede dar una indicación de la fuerza del impacto.

5 El periodo de tiempo puede elegirse dependiendo del número de muestras disponibles y puede ser, por ejemplo, 0,5 s, 1 s, 2 s o cualquier otro valor adecuado.

Los umbrales relativos varían con la señal representada por las muestras. Por ejemplo, un umbral relativo puede rastrear la señal y reducir el impacto del ruido en la señal. Cuando se utilizan umbrales relativos, se pueden calcular de la siguiente manera:

La primera etapa en el cálculo de los umbrales relativos es filtrar las muestras para establecer una aceleración media local. Para esto se utiliza un filtro de promedio en movimiento:

$$m(k) = \frac{1}{N+1} \sum_{n=-\frac{N}{2}}^{+\frac{N}{2}} a(k+n) \quad (9)$$

15 Donde  $a(k)$  son las muestras de aceleración y  $N$  es un número entero par. El valor de  $N$  junto con la frecuencia de muestreo determina el periodo de tiempo durante el cual se calcula el promedio en movimiento. En un ejemplo, se elige  $N$  para que el intervalo de promediación se extienda a 240 ms. En este ejemplo, se elige 240 ms porque es el intervalo más pequeño que contiene un número par de muestras a un número de frecuencias de muestreo predeterminadas. La experimentación ha demostrado que un intervalo de promediación de 240 ms permite la media para rastrear los cambios controlados por el conductor y al mismo tiempo suprimir el ruido. También se pueden usar otros intervalos de promediación y las formas de realización no se limitan a este periodo de tiempo.

En el cálculo del promedio en movimiento utilizando la ecuación (9), los componentes de la muestra (a lo largo de los tres ejes) del acelerómetro se tratan como flujos de muestra independientes.

A continuación, se restan las medias locales de las muestras para estimar la contribución del ruido a la muestra:

$$n(k) = a(k) - m(k) \quad (10)$$

Se detecta un evento para iniciar el análisis para determinar si se ha producido una colisión cuando los datos de la muestra del acelerómetro superan un umbral (este puede ser la magnitud del vector, o la magnitud de uno o más componentes, por ejemplo). A este evento detectado se le asigna un tiempo de  $t = 0$  en el siguiente análisis. Se usa una estimación del nivel de ruido RMS,  $r$ , con la media local como base de un umbral local,  $t(k)$ , que responde a las condiciones de ruido cambiantes:

$$t(k) = m(k) \pm Ar \quad (11)$$

donde  $r$  se calcula tomando el valor RMS de los valores de ruido para un periodo anterior a  $t = 0$ . No es necesariamente el caso en el que la detección en  $t = 0$  era realmente el comienzo de la colisión. Por ejemplo, los datos de aceleración justo antes de  $t = 0$  pueden haber sido datos relacionados con la colisión. Por lo tanto, los datos de aceleración inmediatamente anteriores no se utilizan en el cálculo de  $r$ . Por ejemplo, el ruido RMS se puede calcular en las muestras de tiempo negativo disponibles hasta un tiempo  $t = -0,25$  s o  $t = -0,5$  s.

$A$  en la ecuación (11) anterior es un factor apropiado. Por ejemplo,  $A$  puede determinarse para permitir la discriminación entre colisiones reales y falsos positivos utilizando los datos recopilados en el campo. Las Figuras 3 y 4 muestran datos de ejemplo para una verdadera colisión (Figura 3) y un falso positivo (Figura 4). Los datos están representados por una línea continua y las líneas de puntos muestran los umbrales que se aplicarían con  $A = 3$ . Esto demuestra cómo el umbral sigue la maniobra en la Figura 3, pero no los impactos. En las Figuras 3 y 4, las aceleraciones se muestran con los ejes etiquetados "hacia la tierra", "lateral" y "de avance". Estos tres ejes son ortogonales y no tienen que estar orientados en relación con el vehículo para el que se mide la aceleración.

Las tablas a continuación demuestran el efecto de cambiar el valor de  $A$  en los resultados del recuento y la suma para los datos representados en las Figuras 3 y 4:

Tabla 1, Número de muestras que exceden el umbral relativo para el impacto mostrado en la Figura 4 (Eje hacia la

Tierra)

Intervalo (s)	Factor (A)				
	1	2	3	4	5
-0,5 a +0,5	11,0	6,0	3,0	1,0	1,0
+0,5 a +1,5	9,0	2,0	1,0	1,0	0,0
+1,5 a +2,5	12,0	6,0	2,0	1,0	1,0
+2,5 a +3,5	10,0	2,0	0,0	0,0	0,0
+3,5 a +4,5	12,0	4,0	1,0	1,0	1,0

Tabla 2, Número de muestras que exceden el umbral relativo para el impacto mostrado en la Figura 3 (Eje hacia la Tierra)

Intervalo (s)	Factor (A)				
	1	2	3	4	5
-0,5 a +0,5	21,0	16,0	13,0	12,0	11,0
+0,5 a +1,5	21,0	21,0	16,0	16,0	16,0
+1,5 a +2,5	16,0	12,0	8,0	6,0	6,0
+2,5 a +3,5	25,0	23,0	22,0	20,0	17,0
+3,5 a +4,5	23,0	22,0	21,0	21,0	20,0
+4,5 a +5,5	24,0	19,0	16,0	13,0	13,0
+5,5 a +6,5	24,0	21,0	18,0	18,0	17,0
+6,5 a +7,5	17,0	11,0	10,0	8,0	7,0
+7,5 a +8,5	16,0	7,0	2,0	2,0	0,0
+8,5 a +9,5	10,0	5,0	1,0	1,0	0,0

5

Tabla 3, Suma de los valores absolutos de las muestras que exceden el umbral relativo para el impacto mostrado en la Figura 4 (Eje hacia la Tierra)

Intervalo (s)	Factor (A)				
	1	2	3	4	5
-0,5 a +0,5	14,7	11,2	7,8	4,3	4,3
+0,5 a +1,5	9,3	3,7	2,6	2,6	0,0
+1,5 a +2,5	16,6	11,5	5,9	3,9	3,9
+2,5 a +3,5	8,4	2,2	0,0	0,0	0,0
+3,5 a +4,5	12,6	6,7	3,0	3,0	3,0

Tabla 4, Suma de los valores absolutos de las muestras que exceden el umbral relativo para el impacto mostrado en la Figura 3 (Eje hacia la Tierra)

10

Intervalo (s)	Factor (A)				
	1	2	3	4	5
-0,5 a +0,5	41,8	40,5	39,1	38,4	37,5
+0,5 a +1,5	43,0	43,0	40,5	40,5	40,5
+1,5 a +2,5	13,4	12,2	10,2	8,9	8,9
+2,5 a +3,5	52,2	51,7	51,3	49,9	47,2
+3,5 a +4,5	54,0	53,7	53,2	53,2	52,4
+4,5 a +5,5	39,4	38,1	36,4	34,3	34,3
+5,5 a +6,5	55,2	54,2	52,8	52,8	51,9
+6,5 a +7,5	17,7	16,1	15,6	14,2	13,4
+7,5 a +8,5	7,0	4,4	1,8	1,8	0,0
+8,5 a +9,5	4,1	2,7	0,8	0,8	0,0

Los umbrales absolutos también son útiles tanto solos como en combinación con umbrales relativos. Un umbral absoluto no varía con los datos de aceleración de la manera en que lo hacen los umbrales relativos descritos anteriormente. Los umbrales absolutos pueden expresarse como un múltiplo de la aceleración debida a la gravedad en la superficie de la Tierra, g. Por ejemplo, el umbral absoluto puede ser 3g, 4g, 5g, 6g, 7g o cualquier otro valor adecuado. Las tablas a continuación proporcionan los resultados de los datos representados en las Figuras 3 y 4 con diversos valores de umbral absoluto.

Tabla 5, Número de muestras que exceden los umbrales absolutos para el impacto mostrado en la Figura 4 (Eje

hacia la Tierra)

Intervalo (s)	Umbral				
	3 g	4 g	5 g	6 g	7 g
-0,5 a +0,5	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+0,5 a +1,5	8,0	1,0	1,0	0,0	0,0
+1,5 a +2,5	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+2,5 a +3,5	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+3,5 a +4,5	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 6, Número de muestras que exceden los umbrales absolutos para el impacto mostrado en la Figura 3 (Eje hacia la Tierra)

Intervalo (s)	Umbral				
	3 g	4 g	5 g	6 g	7 g
-0,5 a +0,5	9,0	6,0	6,0	3,0	0,0
+0,5 a +1,5	9,0	3,0	2,0	1,0	1,0
+1,5 a +2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+2,5 a +3,5	12,0	7,0	4,0	1,0	1,0
+3,5 a +4,5	8,0	4,0	1,0	0,0	0,0
+4,5 a +5,5	8,0	4,0	3,0	1,0	0,0
+5,5 a +6,5	13,0	8,0	2,0	0,0	0,0
+6,5 a +7,5	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+7,5 a +8,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+8,5 a +9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

5

Tabla 7, Suma de los valores absolutos de las muestras que exceden los umbrales absolutos para el impacto mostrado en la Figura 4 (Eje hacia la Tierra)

Intervalo (s)	Umbral				
	3 g	4 g	5 g	6 g	7 g
-0,5 a +0,5	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0
+0,5 a +1,5	29,8	5,7	5,7	0,0	0,0
+1,5 a +2,5	20,9	0,0	0,0	0,0	0,0
+2,5 a +3,5	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0
+3,5 a +4,5	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0

10

Tabla 8, Suma de los valores absolutos de las muestras que exceden los umbrales absolutos para el impacto mostrado en la Figura 3 (Eje hacia la Tierra)

Intervalo (s)	Umbral				
	3 g	4 g	5 g	6 g	7 g
-0,5 a +0,5	46,6	36,5	36,5	20,3	0,0
+0,5 a +1,5	38,8	17,6	12,7	7,5	7,5
+1,5 a +2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+2,5 a +3,5	54,6	37,4	24,2	8,0	8,0
+3,5 a +4,5	32,3	18,1	5,1	0,0	0,0
+4,5 a +5,5	35,1	22,1	17,3	6,8	0,0
+5,5 a +6,5	53,4	36,1	10,2	0,0	0,0
+6,5 a +7,5	20,5	0,0	0,0	0,0	0,0
+7,5 a +8,5	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0
+8,5 a +9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Las métricas de recuento y/o suma, ya se usen en conjunto con un umbral relativo o un umbral absoluto, son computacionalmente sencillas, lo que permite que se implementen con relativamente poca potencia de procesamiento. Ahora se describirá una forma de realización que combina un recuento que usa un umbral relativo con una suma que usa un umbral absoluto.

En primer lugar, se determina el número de muestras que exceden un umbral relativo en el intervalo de 1 s en torno al evento de impacto. El evento de impacto está en el centro del intervalo, por lo que el tiempo se extiende de -0,5 s a + 0,5 s con el impacto en  $t = 0$ . Los tres componentes de cada muestra de datos de aceleración se procesan de

forma independiente y sus recuentos se suman, por lo que es posible que cada muestra de datos aumente el recuento entre 0 y 3. Para los datos de aceleración que tienen una frecuencia de muestreo de 25 Hz, se ha encontrado que el uso de  $A = 5$  para calcular el umbral relativo funciona bien (véanse las tablas 1 y 2 anteriores,  $A = 5$  proporciona recuentos bajos a partir del falso positivo de la Figura 4 y recuentos altos a partir de la colisión real de la Figura 3). Este recuento se utiliza para dar peso a las colisiones de baja energía donde los valores de aceleración pueden no ser altos, pero donde un gran número de muestras se destacan como inusuales (dadas las estadísticas en el intervalo previo al evento).

En segundo lugar, se determinan los valores absolutos de las muestras que exceden un umbral absoluto en el mismo intervalo de 1 s en torno al evento de impacto. Los tres componentes de cada muestra de aceleración se procesan de forma independiente y sus sumas individuales se suman. Para los datos de aceleración que tienen una frecuencia de muestreo de 25 Hz, se ha encontrado que un umbral absoluto de 6 g funciona bien (véanse las tablas 7 y 8 anteriores). Este cálculo de suma da peso a los impulsos más fuertes que tienen más probabilidades de ocurrir en una colisión que en condiciones normales de conducción.

En tercer lugar, el recuento y la suma se añaden para crear una métrica que se puede comparar con un umbral de colisión para determinar si se ha producido una colisión. El valor del umbral de colisión de elección depende de varias variables, incluidas las características del vehículo, la frecuencia de muestreo del acelerómetro y los umbrales absolutos y relativos, por ejemplo, puede determinarse mediante experimentación. La experimentación con datos de colisiones y falsos positivos sugiere que, con una frecuencia de muestreo de 25 Hz, un umbral relativo para el recuento de  $A = 5$  y un umbral absoluto para la suma de 6 g, un umbral de colisión de aproximadamente 20 indica la mayoría de las colisiones con relativamente pocos falsos positivos.

En otras formas de realización, los datos del acelerómetro se pueden procesar para determinar la orientación relativa, después de un evento de colisión como un indicador adicional de una colisión y su gravedad. Una orientación relativa que difiere indica que un vehículo puede haber rodado. La orientación relativa se puede calcular utilizando el producto escalar de un vector de dirección con un vector de referencia.

El vector de referencia,  $r$ , se puede calcular a partir de los datos antes de la colisión (si está disponible), por ejemplo, la media del bloque 1s de  $t = -1,5$  a  $t = -0,5$ . Como alternativa, si el acelerómetro está orientado con respecto al vehículo, se puede suponer un vector de referencia con conocimiento de la orientación, por ejemplo,  $\{0, 0, 1\}$  en el marco de referencia del vehículo.

Una vez que se determina el vector de referencia,  $r$ , pueden calcularse los vectores de dirección,  $d_k$  tomando la media de bloques de muestras correspondientes a otros periodos de tiempo de 1 segundo.

El ángulo relativo  $\Phi(k)$  puede calcularse entonces por:

$$\phi(k) = \cos^{-1}(r \cdot d_k) \quad (12)$$

La tabla 9 a continuación proporciona el ángulo relativo calculado utilizando este método para los datos de las Figuras 3 y 4; muestra cómo el ángulo relativo para la colisión real de la Figura 3 es significativamente mayor en este caso que los datos de no colisión recopilados de una motocicleta.

Tabla 9 - Ángulos relativos para los datos de las Figuras 3 y 4.

Intervalo(s)	Ángulo relativo (grados) Figura 3	Ángulo relativo (grados) Figura 4
-4,5 a -3,5	30,0	4,5
-3,5 a -2,5	54,8	4,4
-2,5 a -1,5	35,5	4,8
-1,5 a -0,5	37,2	0,3
-0,5 a +0,5	47,5	2,0
+0,5 a +1,5	50,1	1,8
+1,5 a +2,5	58,7	0,7
+2,5 a +3,5	135,2	6,3
+3,5 a +4,5	104,0	5,5
+4,5 a +5,5	147,4	Sin datos
+5,5 a +6,5	143,2	Sin datos
+6,5 a +7,5	145,2	Sin datos
+7,5 a +8,5	148,1	Sin datos

+8,5 a +9,5	153,2	Sin datos
-------------	-------	-----------

Se entenderá que el procesador o sistema de procesamiento o los circuitos a los que se hace referencia en el presente documento pueden proporcionarse en la práctica por un solo chip o un circuito integrado o varios chips o circuitos integrados, proporcionados opcionalmente como un conjunto de chips, un circuito integrado de aplicaciones específicas (ASIC), una matriz de compuertas programables por campo (FPGA), un procesador de señal digital (DSP), etc. El chip o chips pueden comprender circuitos (así como posiblemente firmware) para incorporar al menos uno o más de un procesador o procesadores de datos, un procesador o procesadores de señal digital, circuitos de banda base y circuitos de radiofrecuencia, que son configurables para funcionar de acuerdo con las formas de realización ejemplares. A este respecto, las formas de realización ejemplares pueden implementarse, al menos en parte, por un software informático almacenado en la memoria (no transitoria) y ejecutable por el procesador, o por hardware, o por una combinación de software almacenado tangiblemente y hardware (y firmware almacenado tangiblemente).

Aunque al menos algunos aspectos de las formas de realización descritas en el presente documento con referencia a los dibujos comprenden procesos informáticos realizados en sistemas de procesamiento o procesadores, la invención también se extiende a programas informáticos, particularmente programas informáticos sobre o en un soporte, adaptados para poner la invención en práctica. El programa puede tener la forma de código fuente no transitorio, código objeto, un código fuente intermedio y código objeto, por ejemplo, en forma parcialmente compilada, o en cualquier otra forma no transitoria adecuada para su uso en la implementación de procesos de acuerdo con la invención. El soporte puede ser cualquier entidad o dispositivo capaz de soportar el programa. Por ejemplo, el operador puede comprender un medio de almacenamiento, tal como una unidad en estado sólido (SSD) u otra RAM basada en semiconductores; una ROM, por ejemplo, una CD ROM o una ROM de semiconductores; un medio de registro magnético, por ejemplo, un disquete o un disco duro; dispositivos de memoria óptica en general; etc.

25

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para detectar una colisión usando un acelerómetro (8) conectado a un vehículo; comprendiendo el método:
- 5 recibir datos de aceleración del acelerómetro a intervalos discretos;  
sumar (106) los datos de aceleración durante un periodo de tiempo para producir una aceleración acumulada;  
determinar (108) si se ha producido una colisión basada, al menos en parte, en una comparación de al menos una de la aceleración acumulada y una función de la aceleración acumulada con un primer umbral; y **caracterizado por:**
- 10 contar el número de puntos de datos de aceleración dentro del periodo de tiempo que excede un segundo umbral para producir un recuento, y en el que la determinación de si se ha producido una colisión se basa, además, al menos en parte, en el recuento.
- 15 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el primer umbral se determina considerando un cambio de energía durante el periodo de tiempo que probablemente puede causar lesiones a un ocupante del vehículo o daños al vehículo.
- 20 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el acelerómetro está fijado dentro de un compartimiento de pasajeros del vehículo y el umbral se determina considerando un cambio de energía durante el periodo de tiempo que puede causar lesiones a un ocupante del vehículo.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, en el que el primer umbral usa la raíz cuadrada de un cambio de energía durante el periodo de tiempo que puede causar lesiones a un ocupante del vehículo o daños al vehículo.
- 25 5. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que los datos de aceleración son un vector en dos o más ejes y la suma de los datos de aceleración utiliza una magnitud del vector o la aceleración a lo largo de uno de los dos o más ejes.
- 30 6. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende modificar los datos de aceleración recibidos restando un promedio de los datos de aceleración, en el que la suma utiliza los datos de aceleración modificados, en donde preferiblemente el promedio de la aceleración medida se calcula durante un tiempo de entre 2 y 60 segundos antes de los datos de aceleración.
- 35 7. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende:
- 40 sumar los datos de aceleración durante un segundo periodo de tiempo para producir una segunda aceleración acumulada, superponiendo, al menos parcialmente, el segundo periodo de tiempo con el periodo de tiempo; y  
en el que la determinación de si se ha producido una colisión se basa, además, al menos en parte, en una comparación de la segunda aceleración acumulada con el primer umbral.
- 45 8. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la determinación de si se ha producido una colisión se basa, al menos en parte, en una determinación de si el vehículo está parado después de haber estado en movimiento.
9. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que determinar si se ha producido una colisión se basa, al menos en parte, en un cambio en la aceleración lineal estática con respecto a una aceleración lineal estática promedio.
- 50 10. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que determinar si se ha producido una colisión se basa, al menos en parte, en determinar un vector Tierra medido y comparar el vector Tierra medido con un vector Tierra previamente determinado.
- 55 11. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que determinar si se ha producido una colisión se basa, al menos en parte, en una determinación de la dirección de la aceleración medida en relación con un marco de referencia del vehículo.

12. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que, en la suma de los datos de aceleración, solo se usan los datos de aceleración que exceden un tercer umbral.
- 5 13. Un aparato para su fijación a un vehículo, comprendiendo el aparato:  
un sistema de procesamiento (4) configurado para ejecutar el método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.
- 10 14. Un vehículo que tiene un aparato de acuerdo con la reivindicación 13 fijado al mismo.
15. Un programa informático que comprende instrucciones de tal forma que, cuando el programa informático se ejecuta en un dispositivo informático, el dispositivo informático está dispuesto para detectar una colisión utilizando un acelerómetro conectado a un vehículo de acuerdo con el método de una cualquiera de las  
15 reivindicaciones 1 a 12.

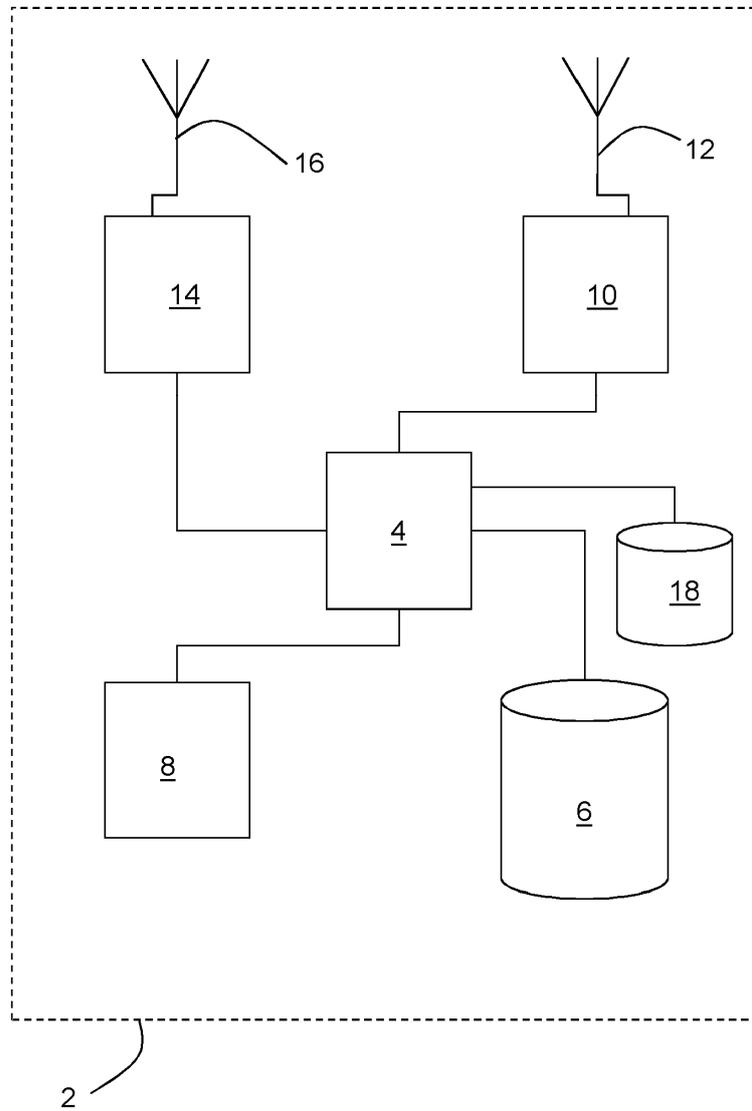


Fig. 1

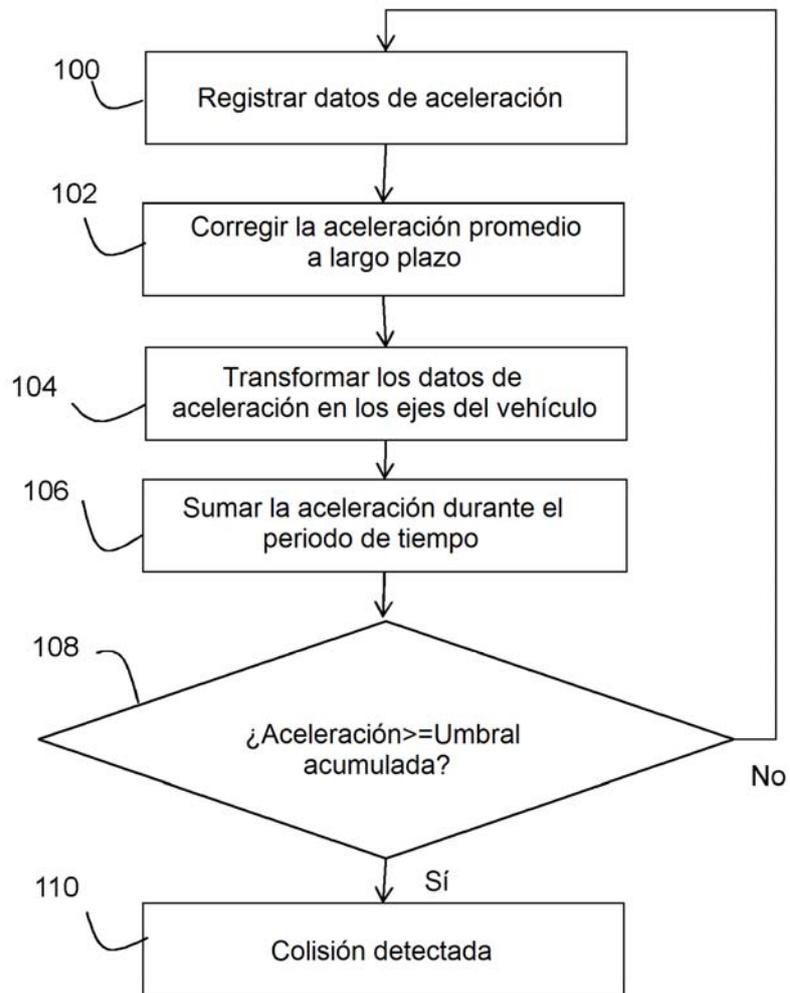


Fig. 2

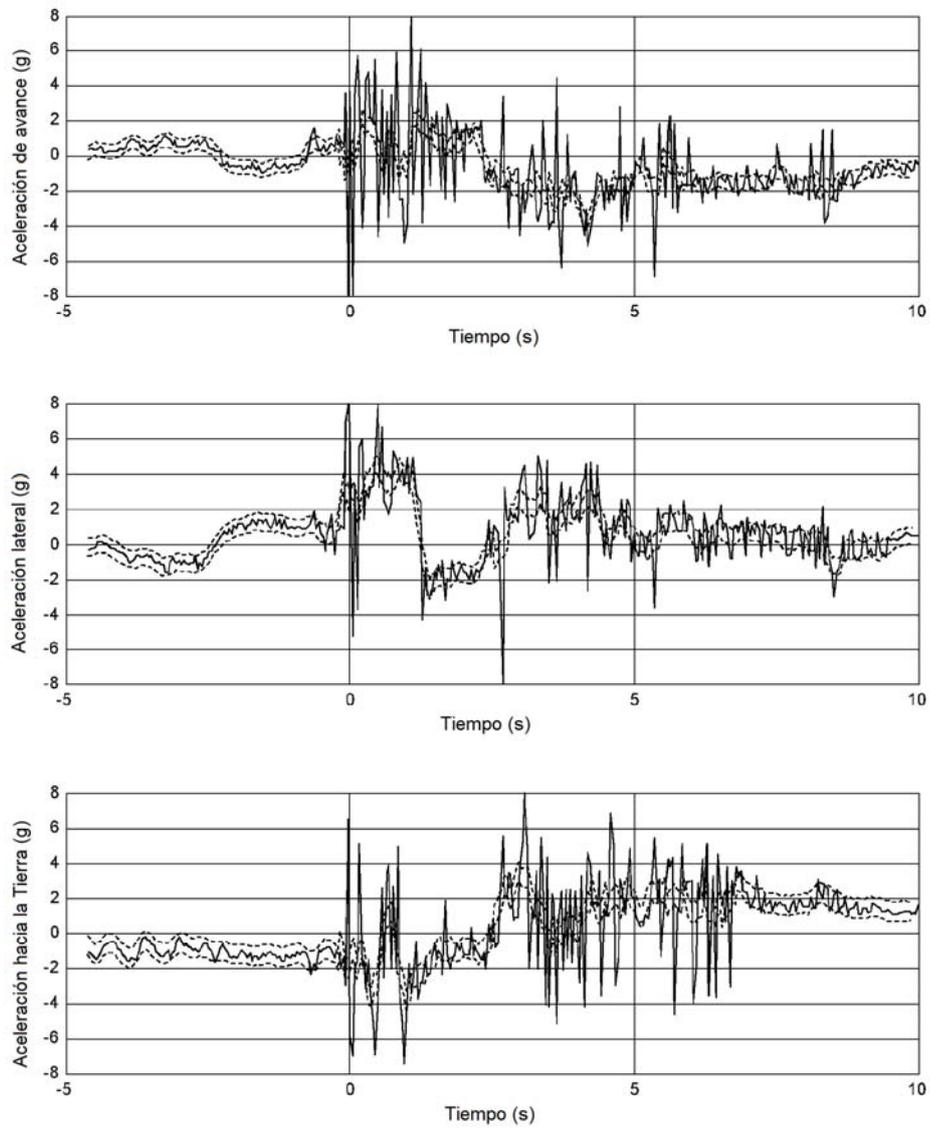


Fig. 3

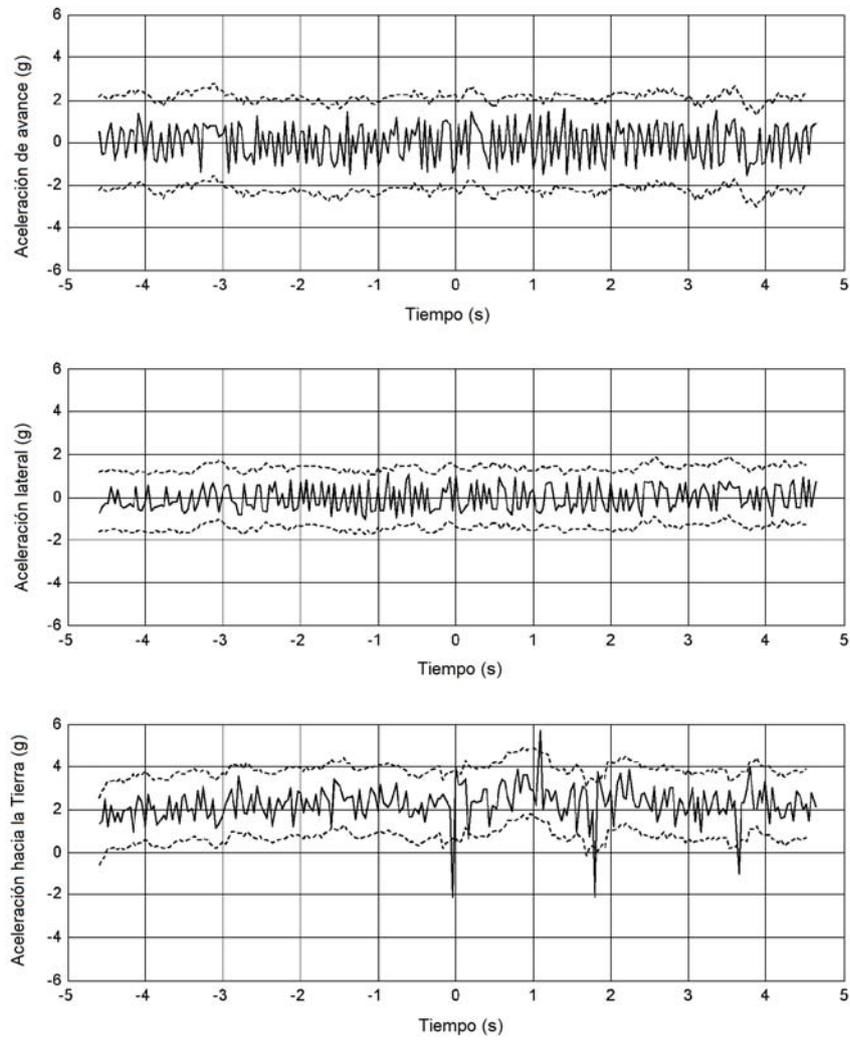


Fig. 4