

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 641 180**

51 Int. Cl.:

A61B 5/11 (2006.01)

G06K 9/00 (2006.01)

G01C 22/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.05.2015 PCT/EP2015/060004**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.11.2015 WO15169880**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.05.2015 E 15720098 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017 EP 3076870**

54 Título: **Método y aparato para determinar la orientación de un acelerómetro**

30 Prioridad:

09.05.2014 EP 14167765

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

08.11.2017

73 Titular/es:

**KONINKLIJKE PHILIPS N.V. (100.0%)
High Tech Campus 5
5656 AE Eindhoven, NL**

72 Inventor/es:

**PIJL, MARTEN JEROEN y
KORST, JOHANNES HENRICUS MARIA**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 641 180 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 y aparato para determinar la orientación de un acelerómetro

5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

La invención se relaciona con un aparato que comprende un acelerómetro que está siendo llevado o portado por un usuario, y en particular se relaciona para determinar la orientación del acelerómetro, particularmente un componente lateral de aceleración en el marco de referencia de un usuario.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La marcha de una persona describe las características del comportamiento al caminar. Más formalmente, la marcha se define como la manera en que se logra la locomoción a través del uso de las piernas. Aunque la marcha parece similar de persona a persona, existen de hecho un número de diferencias entre individuos, de tal manera que la marcha de la persona se puede considerar única, con características de marcha que son utilizadas para aplicaciones de seguridad. Ejemplos comunes de características de marcha incluyen velocidad al caminar, cadencia, tamaño del paso y balanceo del cuerpo, pero la marcha también puede incluir características espejos tales como el ángulo de los dedos.

20

El caminar es una operación compleja, que involucra el sistema musculo esquelético, procesamiento de información sensorial, coordinación y balance. Si uno o más de estos sistemas se comprometen, esto se reflejará en cambios en la marcha de la persona. Por lo tanto, no es sorprendente que la marcha se pueda relacionar con la salud de la persona. Algunos estudios han encontrado fuertes correlaciones entre la velocidad al caminar y volverse funcionalmente dependiente en el futuro. La marcha también ha estado ligada a la declinación cognitiva tal como la enfermedad de Alzheimer.

25

Las características de marcha se pueden medir con alta precisión con aparatos tales como esterillas de caminar y cámaras de captura de movimiento, pero también se pueden aproximar utilizando aparatos más portátiles, tales como aquellos que comprenden acelerómetros que se pueden colocar en varios puntos del cuerpo. Un acelerómetro mide la aceleración que ocurre durante el movimiento del usuario (y también la fuerza de gravedad) junto con tres ejes de medición ortogonal, y las mediciones se pueden procesar para identificar los componentes verticales, delantero y lateral de la aceleración experimentada por el usuario. Para identificar los componentes vertical delantero y lateral de la aceleración experimentada por el usuario. El componente delantero de aceleración se puede utilizar para estimar la velocidad al caminar, mientras que la longitud del paso se puede estimar a través del uso de un modelo de "péndulo invertido" que también hace uso de desplazamiento vertical.

30

35

Idealmente, el acelerómetro es llevado o portado por el usuario de tal manera que la orientación del acelerómetro con respecto al usuario no cambia durante el movimiento, y la orientación del acelerómetro con respecto al uso es conocido de tal manera que las mediciones a lo largo de los ejes de medición se pueden transformar (rotar) al marco de referencia del usuario (es decir direcciones vertical, delantera y lateral). Aún más idealmente, la orientación del acelerómetro con respecto al usuario es tal que los ejes de medición del acelerómetro se alinean con las direcciones vertical, delantera y lateral del usuario; evitando la necesidad de que sea efectuada una transformación.

40

45

En la práctica, los tres ejes del acelerómetro realmente se alinean de manera precisa con las direcciones vertical, lateral y delantera. Esto es especialmente cierto cuando el acelerómetro no se une de manera fija al cuerpo del usuario. Por ejemplo, aquellos llevados en los bolsillos soportados como un pendiente

50

Es posible estimar el componente vertical de la señal de aceleración, que hace uso de la aceleración constante causada por la gravedad. Pero es difícil decir la diferencia entre las aceleraciones lateral y delantera sin conocer la orientación del acelerómetro. Las rotaciones a lo largo de los ejes de medición del acelerómetro no causan una aceleración medible, de tal manera que conocer la orientación del acelerómetro es difícil sin la ayuda de sensores adicionales, tales como giroscopios y/o magnetómetros, que son ambos sensores con requisitos de energía comparativamente altos.

55

El documento US 2010 /0161271 describe técnicas para determinar la orientación de un acelerómetro de tres ejes en cuya aceleración debido a la gravedad se mide en cada eje x, y, y z del acelerómetro y la dirección de la gravedad se utiliza para asociar o alinear el eje x del acelerómetro con la gravedad, la aceleración no debida a la gravedad es luego utilizada para identificar el movimiento hacia adelante y asociar o alinear la dirección hacia adelante del eje y. La dirección restante se puede identificar como las direcciones hacia los lados, que se pueden asociar o alinear con el eje z. El movimiento hacia adelante se puede identificar como el eje del acelerómetro que tiene la energía más grande.

60

65

Una desventaja con la técnica en el documento US 2010/0161271 es que está basado en la presunción de que el componente (no vertical) con la energía más alta es el componente delantero. Sin embargo, esta presunción solamente se mantiene para velocidades de caminata normal (por ejemplo, 5 km/h y por encima). A velocidades de

caminata inferiores, la energía de los componentes delantero y lateral se vuelve crecientemente similar, lo que hace difícil, si no imposible, distinguir los componentes que utilizan esta técnica.

5 Por lo tanto, subsiste la necesidad de una técnica alternativa para determinar el componente lateral de la aceleración proveniente de las mediciones de aceleración. El documento US 2006/284979 A1 y US 2013/190008 A1 muestran la determinación de la orientación de un acelerómetro portado. El documento US 2004/230138 A1 y US 2012/296221 A1 muestran la determinación de la frecuencia de la zancada como la mitad de la frecuencia del paso.

10 RESUMEN DE LA INVENCION

10 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se suministra un método para determinar la orientación de una acelerómetro que está siendo llevado o portado por un usuario, el método comprende medir la aceleración utilizando el acelerómetro en la medida en que el usuario se mueve; procesar la aceleración medida para determinar la frecuencia del paso de los movimientos del usuario; y procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración como un componente de aceleración que tiene una respuesta alta a una frecuencia que corresponde a la mitad de la frecuencia del paso.

15 Preferiblemente, el componente lateral de aceleración es un componente lateral de aceleración en el marco de referencia del usuario.

20 La frecuencia del paso es la frecuencia con la cual el usuario efectúa los pasos mientras camina.

25 En algunas realizaciones, la etapa de procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración comprende transformar las mediciones de aceleración al dominio de frecuencia e identificar el componente lateral de aceleración como el componente de aceleración que tiene una alta respuesta a una frecuencia igual o dentro de un rango predeterminado de la mitad de la frecuencia del paso.

30 En aquellas realizaciones, la alta respuesta preferiblemente comprende una respuesta por encima de un valor umbral.

35 En realizaciones alternativas, preferidas, la etapa de procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración comprende determinar un conjunto de ángulos de rotación para la aceleración medida que minimice la autocorrelación de la aceleración medida en una dirección particular en un desfase de autocorrelación que es de o está alrededor de la mitad de la frecuencia del paso; en donde el componente lateral de aceleración comprende la aceleración medida en la dirección particular.

40 Preferiblemente, la etapa de determinar comprende (i) determinar la autocorrelación de la aceleración medida; (ii) calcular la pendiente de autocorrelación y determinar la dirección en la cual ocurre el ángulo mayor de descenso en la autocorrelación; (iii) actualizar un conjunto de ángulos de rotación para efectuar una rotación del espacio de medición para reducir el ángulo entre el eje y en el espacio de medición y la dirección determinada; (iv) determinar la autocorrelación de la aceleración en el espacio de medición rotado; (v) si la autocorrelación de la aceleración en el espacio de medición rotado es menor que la autocorrelación determinada en la etapa (i), rechazar la actualización al conjunto de ángulos de rotación en la etapa (iii) y repetir las etapas (iii) y (iv) con una rotación más pequeña del espacio de medición; (vi) si la autocorrelación de la aceleración en el espacio de medición rotado es mayor que la autocorrelación determinada en la etapa (i) determinar la diferencia entre la autocorrelación determinada en la etapa (iv) y la autocorrelación determinada en la etapa (i); y (vii) repetir las etapas (ii) a (vi) si la diferencia es mayor que un valor umbral, de otra manera determinar la aceleración en la dirección en la cual ocurre el ángulo mayor de descenso en el espacio de medición rotado para ser el componente lateral de aceleración.

50 En algunas realizaciones, la etapa de procesar la aceleración medida para determinar una frecuencia de paso de los movimientos del usuario comprende computar la magnitud de la aceleración medida; y utilizar un algoritmo de detección pico para encontrar la frecuencia del paso en el dominio de frecuencia.

55 En realizaciones alternativas, la etapa de procesar la aceleración medida para determinar una frecuencia de paso de los movimientos del usuario comprenden computar la magnitud de la aceleración medida; calcular la autocorrelación de una señal que representa la magnitud de la aceleración medida; identificar la autocorrelación máxima de la señal; e identificar un momento del paso para el usuario como el desfase que corresponde a la autocorrelación máxima de la señal.

60 En algunas realizaciones el método además comprende las etapas de procesar la aceleración medida para determinar si el usuario está caminando; y procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de la aceleración si el usuario se determina que está caminando.

65 En algunas realizaciones la etapa de procesar la aceleración medida para determinar si el usuario está caminando comprende determinar si la frecuencia de la etapa determinada está dentro de un rango predeterminado.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se suministra un producto de programa de ordenador que tiene un código leíble por ordenador de una realización en esta, el código leíble por ordenador se configura de tal manera que, a la ejecución mediante un ordenador adecuado o la unidad de procesamiento, se hace que el ordenador o la unidad de procesamiento efectúe cualquiera de los métodos descritos anteriormente.

5 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se suministra un aparato para determinar la orientación del acelerómetro que es llevado o portado por un usuario, el aparato comprende una unidad de procesamiento que se configura para recibir las mediciones de aceleración proveniente del acelerómetro, procesar la aceleración medida para determinar la frecuencia de la etapa de los movimientos del usuario; y procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de la aceleración como un componente de aceleración que tiene una alta respuesta en una frecuencia correspondiente a la mitad de la frecuencia del paso.

Preferiblemente, el componente lateral de la aceleración es un componente lateral de aceleración en el marco de referencia del usuario.

15 La frecuencia del paso es la frecuencia con la cual el usuario efectúa los pasos mientras camina.

En algunas realizaciones, la unidad de procesamiento se configura para procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración al transformar las mediciones de aceleración al dominio de frecuencia e identificar el componente lateral de aceleración como el componente de aceleración que tiene una alta respuesta a una frecuencia igual o dentro de un rango predeterminado de la mitad de la frecuencia del paso.

En aquellas realizaciones, la alta respuesta preferiblemente comprende una respuesta por encima de un valor umbral.

25 En realizaciones alternativas, preferidas, la unidad de procesamiento se configura para procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración al determinar un conjunto de ángulos de rotación para la aceleración medida que minimizan la autocorrelación de la aceleración medida en una dirección particular en un desfase de autocorrelación que está en o alrededor de la mitad de la frecuencia del paso, en donde el componente lateral de aceleración comprende la aceleración medida en la dirección particular.

30 Preferiblemente, la unidad de procesamiento se configura para procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de la aceleración al (i) determinar la autocorrelación de la aceleración medida; (ii) calcular la pendiente de autocorrelación y determinar la dirección en la cual el ángulo mayor de descenso en la autocorrelación ocurre; (iii) actualizar el conjunto de ángulos de rotación para efectuar una rotación del espacio de medición para reducir el ángulo entre el eje y en el espacio de medición y la dirección determinada; (iv) determinar la autocorrelación de la aceleración en el espacio de medición rotado; (v) si la autocorrelación de la aceleración del espacio de medición rotado es menor que la autocorrelación determinada en la etapa (i), rechazar la actualización del conjunto de ángulos de rotación en la etapa (iii) y repetir las etapas (iii) y (iv) con una rotación más pequeña del espacio de medición; (vi) si la autocorrelación de la aceleración en el espacio de medición rotado es mayor que la autocorrelación determinada en la etapa (i) determinar la diferencia entre la autocorrelación determinada en la etapa (iv) en la autocorrelación determinada en la etapa (i); y (vii) repetir las etapas (ii) a (vi) si la diferencia es mayor que un valor umbral, de otra manera determinar la aceleración en la dirección en la cual el ángulo mayor de descenso ocurre en el espacio de medición rotado para ser el componente lateral de aceleración.

45 En algunas realizaciones, la unidad de procesamiento se configura para procesar la aceleración medida para determinar la frecuencia del paso de los movimientos del usuario al computar la magnitud de la aceleración medida; y utilizar un algoritmo de detección pico para encontrar la frecuencia de paso en el dominio de frecuencia.

50 En realizaciones alternativas, la unidad de procesamiento se configura para procesar la aceleración medida para determinar una frecuencia de paso de los movimientos del usuario al computar la magnitud de la aceleración medida; calcular la autocorrelación de una señal que representa la magnitud de la aceleración medida, identificar la autocorrelación máxima de la señal; e identificar el tiempo del paso del usuario como el desfase que corresponde a la autocorrelación máxima de la señal.

55 En algunas realizaciones la unidad de procesamiento se configura además para procesar la aceleración medida para determinar si el usuario está caminando; y procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración si se determina que el usuario está caminando.

60 En algunas realizaciones la unidad de procesamiento se configura para procesar la aceleración medida para determinar si el usuario está caminando al determinar si la frecuencia del paso determinado está dentro de un rango predeterminado.

65 En algunas realizaciones, la unidad de procesamiento es parte de un dispositivo que además comprende el acelerómetro, y el dispositivo se configura para ser portado o llevado por el usuario.

En realizaciones alternativas, el aparato comprende una unidad de sensor que se separa de la unidad de procesamiento, en donde la unidad de sensor comprende un acelerómetro y se configura para ser portado o llevado por el usuario.

5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las realizaciones de ejemplo de la invención se describirán ahora por vía de ejemplo solamente, con referencia a los siguientes dibujos, en los cuales:

10 La Figura 1 es una ilustración de un dispositivo de acuerdo con la invención que es portado como un pendiente;

La Figura 2 es un diagrama de bloque de un dispositivo de acuerdo con una realización de la invención;

15 La Figura 3 es una gráfica que ilustra las amplitudes de frecuencia de las mediciones de aceleración para los tres ejes de medición de un acelerómetro obtenido mientras el portador del acelerómetro está caminando;

La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método de acuerdo a una realización de la invención;

20 La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un método de acuerdo con una realización específica de la invención; y

La Figura 6 es un mapa térmico que muestra la autocorrelación del desfase de tiempo del paso a lo largo del eje y para todas las posibilidades de rotación a lo largo de los ejes x y z.

25 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

La Figura 1 muestra un dispositivo 2 en la forma de un pendiente que es portado alrededor del cuello de un usuario 4 y la Figura 2 es un diagrama de bloque del dispositivo 2. El dispositivo 2 puede ser cualquier tipo de dispositivo donde sea necesario o útil conocer la orientación del dispositivo con respecto al plano horizontal. En algunas realizaciones el dispositivo 2 es un monitor de actividad que monitoriza la actividad física del usuario 4, por ejemplo, para propósitos personales de acondicionamiento físico, o para soportar daño o prevenir caída por ejemplo cuando se camina. El dispositivo 2 puede ser para monitorizar los pasos o la caminata del usuario 4 e identificar los parámetros de la marcha, incluyendo cuando los parámetros se utilizan como un biométrico para identificar un individuo, o el dispositivo 2 puede ser para detectar otras formas de atravesar caminando tal como correr, saltar, etc.). En otras realizaciones, el dispositivo 2 se puede utilizar para otros propósitos, por ejemplo, puede ser un contador de pasos, un monitor de velocidad, un monitor de estabilidad, o un detector de caída o un teléfono inteligente.

40 El dispositivo 2 comprende al menos un acelerómetro 6 que mide los movimientos del dispositivo 2 y que está en una relación fija con respecto al resto del dispositivo 2 (es decir el acelerómetro 6 no se mueve en el dispositivo 2). El al menos un acelerómetro 6 mide la magnitud y la dirección de la aceleración que actúa sobre el dispositivo 2. El acelerómetro 6 mide las aceleraciones en tres dimensiones y saca una señal para tres ejes ortogonales (por ejemplo denotados ejes x, y y z) que indican la magnitud de la aceleración que actúa a lo largo del eje durante el tiempo. El acelerómetro 6 mide la aceleración a una frecuencia de muestreo predeterminada, por ejemplo 50 HZ aunque se pueden utilizar otras frecuencias de muestreo. Se apreciará que en lugar del acelerómetro 6 que mide la aceleración en tres dimensiones, el dispositivo 2 puede comprender tres acelerómetros que miden la aceleración en una dirección que se dispone ortogonalmente o aproximadamente de manera ortogonal el uno al otro.

50 El dispositivo 2 comprende además una unidad de procesamiento 8 que recibe las mediciones de aceleración del acelerómetro 6 y procesa las mediciones para determinar la orientación del dispositivo 2. En algunas realizaciones, la unidad 8 de procesamiento determina la orientación del dispositivo 2 con el fin de identificar uno o más de los componentes verticales, delantero y lateral de la aceleración en las mediciones de aceleración.

55 El dispositivo 2 también comprende un modo de memoria 10 que se puede utilizar para almacenar código leíble por ordenador o instrucciones para ejecución de la unidad 8 de procesamiento con el fin de hacer que la unidad 8 de procesamiento procese las mediciones de aceleración de acuerdo con la invención. El módulo 10 de memoria también se puede utilizar para almacenar las mediciones de aceleración antes, durante y después del procesamiento mediante la unidad 8 de procesamiento y cualquiera de los productos intermedios del procesamiento.

60 Aunque en la realización preferida de la invención el dispositivo 2 está en la forma de un pendiente para ser cortado con una cuerda o hilo alrededor del cuello de un usuario 4, se apreciará que el dispositivo 2 se puede ejecutar en formas alternativas que va a ser portado o llevado por diferentes partes del cuerpo del usuario 4, tal como en la cintura, sobre el pecho, brazo, muñeca, pierna o tobillo.

65 En esta realización ilustrada de la invención, el dispositivo 2 comprende una unidad única que es portada por el usuario 4 y que recolecta y procesa las mediciones de aceleración. En realizaciones alternativas, el procesamiento

de las mediciones se puede efectuar en una unidad que es remota del acelerómetro 6 (por ejemplo una unidad que es portada sobre una parte diferente del cuerpo del usuario 4, una unidad base u ordenador que se puede ubicar en la casa del usuario, o un servidor remoto ubicado en las instalaciones de un proveedor de servicio de salud), en cuyo caso el dispositivo 2 comprenderá una unidad censora para ser portada por el usuario 4 que comprende un circuito de transmisor o transceptor adecuado para transmitir las mediciones a la unidad remota. En esta realización, no se requiere que la unidad censora portada por el usuario incluya una unidad de procesamiento que sea capaz de procesar la invención para determinar la orientación de la unidad censora.

Se apreciará que, en ejecuciones prácticas, el dispositivo 2 puede comprender otros o adicionales componentes a aquellos mostrados en la Figura 2 y descritos anteriormente, tal como una interfaz de usuario que le permite al usuario activar y/u operar el dispositivo 2, y suministrar energía, tal como una batería, para energizar el dispositivo 2.

Aunque no es habitualmente factible establecer la orientación completa de un acelerómetro (es decir incluir los componentes lateral y delantero) en todas las circunstancias con base en las mediciones de aceleración solas, se ha encontrado que es posible establecer la orientación completa de un acelerómetro cuando el usuario está caminando.

En particular, la invención toma ventaja de la marcha (es decir los patrones de caminata) del usuario ya que caminar es, por naturaleza un patrón altamente cíclico, y las etapas sucesivas son altamente similares la una a la otra y como tal, las mediciones correspondientes de aceleración son también altamente similares.

La Figura 3 es una gráfica que muestra las amplitudes de frecuencia (es decir las amplitudes en el dominio de frecuencia) de las mediciones de aceleración para los tres ejes de medición individuales (x, y, y z) obtenidos mientras el portador del acelerómetro está caminando. En esta figura, el eje x es conocido por corresponder a la dirección vertical, el eje y es conocido por corresponder a la dirección lateral y el eje z es conocido por corresponder a la dirección delantera. Se puede ver del análisis en el dominio de frecuencia que los ejes x y z muestran una respuesta de alta frecuencia (es decir un pico o magnitud alta/amplitud en el espectro de frecuencia de la señal de aceleración) que casa (es decir ocurre en la) frecuencia de paso (es decir la frecuencia con la cual el pie del usuario golpea el piso mientras camina, aproximadamente 1.7 HZ en este caso). En el caso general donde ninguno de los ejes de medición está alineado o alineado cercanamente con la dirección lateral, todos los 3 ejes mostraran una respuesta de alta frecuencia (es decir una respuesta alta o un pico en el dominio de frecuencia) que coincide (es decir ocurre en) la frecuencia de paso

También se puede ver de la Figura 3 que el componente lateral (y) también muestra una respuesta (es decir pico) a la mitad de la frecuencia del paso. Esta respuesta se debe al hecho de que, sin importar de si la etapa se hace con el pie izquierdo o derecho, las aceleraciones hacia adelante y vertical serán aproximadamente similares. El movimiento lateral sin embargo corresponde al usuario que se balancea alternativamente de izquierda a derecha, lo cual produce una señal invertida para cada paso. Estos resultados de balanceo en la señal periódica con dos veces el periodo del tiempo del paso, y por lo tanto en la mitad de su frecuencia (la frecuencia del paso).

Así los inventores han encontrado que el componente lateral de aceleración se puede encontrar sin importar la orientación y maximizar la respuesta de frecuencia (respuesta en el dominio de frecuencia) de un componente de aceleración a la mitad de la frecuencia del paso.

Claramente esta técnica evita la necesidad de utilizar otro sensor tal como un giroscopio o magnetómetro para determinar los componentes de aceleración horizontales, e incrementar el consumo de energía que causa el uso de aquellos sensores. Una ventaja adicional sobre los métodos basados en giroscopio es que no hay desviación de la medición que es común en los giroscopios. Si el acelerómetro cambia la orientación mientras se camina, esto se puede corregir relativamente de manera rápida utilizando la invención.

La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra una realización general de la invención. En una primera etapa, la etapa 101, las mediciones de la aceleración se obtienen utilizando un acelerómetro 6 que es portado o llevado por un usuario 4.

En la etapa 103, una frecuencia de paso para los movimientos del usuario se determina de las mediciones de aceleración.

Aquellos expertos en la técnica estarán enterados de varias técnicas para determinar la frecuencia del paso (o tiempo de paso). En algunas realizaciones, el tiempo del paso se puede encontrar al computar la magnitud de las mediciones del acelerómetro, es decir

$$\text{Magnitud} = \sqrt{(a_x^2 + a_y^2 + a_z^2)}$$

y utilizar un algoritmo de detección pico para encontrar la frecuencia del paso del dominio de frecuencia (que puede por supuesto ser convertido a tiempo de paso). En esta ejecución, la señal de magnitud es transformada al dominio de frecuencia, y se selecciona el valor más alto dentro de la banda de frecuencia apropiada (por ejemplo 1-2.5 Hz).

En otras ejecuciones, la autocorrelación se puede utilizar para encontrar el tiempo del paso. La autocorrelación determina qué también se correlaciona la señal así misma cambiada por un número de posiciones, conocida como "desfase". Una autocorrelación máxima de la señal de magnitud de dominio del tiempo se puede identificar dentro de un cierto intervalo de desfase (es decir un rango de desfase aceptable), con el desfase correspondiendo a la autocorrelación máxima que suministra el tiempo del paso.

Aquellos expertos en la técnica estarán enterados de otras técnicas o modificaciones a las técnicas anteriores (por ejemplo que el pico debe ser una cierta cantidad por encima del nivel de ruido) que se puede utilizar para identificar el tiempo del paso o la frecuencia del paso.

Una vez que la frecuencia del paso/tiempo del paso se ha identificado, se procesa la aceleración medida para identificar el componente lateral de la aceleración con base en el hallazgo de que el componente lateral de aceleración es un componente de aceleración que tiene una alta respuesta a una frecuencia que corresponde a la mitad de la frecuencia del paso (etapa 105).

En algunas realizaciones, el componente lateral de aceleración se puede encontrar al transformar las mediciones de aceleración al dominio de frecuencia (por ejemplo, utilizando una rápida transformada de Fourier) e identificar cuál de los ejes tiene una alta respuesta en el dominio de frecuencia a una frecuencia igual o alrededor de la mitad de la frecuencia del paso. La alta respuesta se puede identificar como una respuesta (es decir magnitud de la señal de aceleración en el dominio de frecuencia) mayor que un valor umbral, o el eje con la respuesta más alta a una frecuencia igual o alrededor de la mitad de la frecuencia del paso. Con el fin de identificar el componente lateral de aceleración, se puede requerir la alta respuesta para ser encontrada en exactamente la mitad de la frecuencia del paso, o dentro de un rango predeterminado de la mitad de la frecuencia del paso. Se apreciará que estas realizaciones son generalmente solo confiables cuando uno de los ejes del acelerómetro se alinea o se alinea aproximadamente con la dirección lateral, y precluye el hallazgo del componente lateral de aceleración como una combinación lineal de los ejes del acelerómetro. Así, estas realizaciones no se prefieren en la situación general donde el acelerómetro 6 tiene una orientación arbitraria con respecto al usuario.

El diagrama de flujo en la Figura 5 ilustra una realización preferida para determinar el componente lateral de aceleración de acuerdo con la invención. Este algoritmo está basado en el principio de que el componente lateral de aceleración es el componente de aceleración que tiene alta respuesta (pico) en el dominio de frecuencia a una frecuencia que corresponde a la mitad de la frecuencia del paso, pero utiliza autocorrelación en lugar de una transformación al dominio de frecuencia (tal como una rápida transformada de Fourier), ya que utilizar autocorrelación es computacionalmente más rápido. Con un desfase igual al tiempo del paso, se espera que la autocorrelación sea positiva para los componentes delantero y vertical (ya que la señal de aceleración se repite así misma) y negativa para el componente natural (ya que la señal de aceleración es la mitad de su periodo).

En la etapa 121, se obtienen las mediciones de aceleración. Luego, se determina el tiempo del paso o la frecuencia del paso (Etapa 123). La etapa 123 se puede efectuar como se describió anteriormente para la etapa 103.

Como se notó anteriormente, los ejes de medición del acelerómetro 6 se denominan como "x", "y" y "z". Idealmente, el eje x se alinea con el componente vertical (en el marco de referencia del usuario), el eje y se alinea con el componente lateral (en el marco de referencia del usuario) y el eje z se alinea con el componente delantero (en el marco de referencia del usuario), aunque existen orientaciones ideales alternativas.

El objetivo del método en la Figura 5 es determinar cómo se puede formular el componente lateral (en el marco de referencia del usuario) como una combinación lineal de los ejes x, y y z, al determinar para cual combinación lineal de los ejes x, y y z es máxima la respuesta en el dominio de frecuencia a la mitad de la frecuencia del paso. Para hacerlo así, el método de la Figura 5 suministra que los ejes de medición del acelerómetro sean virtualmente rotados alrededor de los ejes x y z hasta que el eje y se alinea con el componente lateral (rotando a lo largo del eje y no cambia la orientación del eje y mismo). Ya que los ejes x, y y z son ortogonales uno al otro, ellos se pueden visualizar como un espacio de coordenadas cartesianas 3D; que es el espacio tridimensional general donde son dados los puntos mediante un vector de 3 valores que indica su distancia desde el origen a lo largo de los ejes respectivos. Los métodos utilizados para rotar un espacio cartesiano también se pueden utilizar para rotar (virtualmente) los ejes de medición del acelerómetro (por consiguiente, el término "rotar el espacio" en la siguiente descripción).

La rotación de un punto en un espacio cartesiano 3D es una transformación lineal, es decir, se puede lograr al multiplicar una matriz de rotación 3x3 con las coordenadas 3D del punto. Existen numerosas maneras de derivar tal matriz de un conjunto de parámetros de rotación, por ejemplo, al derivarla de los 3 valores de rotación a lo largo de los ejes x, y y z respectivamente. Al aplicar la rotación a cada conjunto de mediciones del acelerómetro (x, y, z), los ejes del acelerómetro son efectivamente rotados a un nuevo conjunto virtual de ejes, que pueden por ejemplo ser denominados x', y' y z'. El objetivo es luego encontrar un conjunto de ángulos de rotación de tal manera que y' esté alineado con el componente lateral

Así, para encontrar el componente lateral de la aceleración, la autocorrelación de la señal a lo largo del eje y se minimiza al rotar el espacio tridimensional a lo largo de los ejes x y z. Esto conduce a que el eje y se alinee con el componente lateral.

5 Para encontrar el componente lateral, la autocorrelación de las mediciones de aceleración se determinan para cada uno de los ejes de medición del acelerómetro 6 (Etapa 125) y se calculó la pendiente de autocorrelación (Etapa 127). Minimizar la autocorrelación se puede lograr utilizando un algoritmo de trepar la colina que involucra determinar el ángulo mayor de descenso dado en la orientación espacial corriente.

10 Una vez que el ángulo mayor de descenso se determina para la orientación del espacio corriente, se actualizan las variables de rotación con el fin de efectuar una rotación del espacio de tal manera que el ángulo entre el eje y el espacio de medición (en su orientación corriente) y la dirección determinada se reduce (Etapa 129)

15 Luego, en la Etapa 131, el espacio es rotado utilizando las variables de rotación actualizadas y la autocorrelación se recalcula. El proceso luego regresa a la Etapa 127 donde se determina la pendiente de la autocorrelación.

20 Las etapas 127-131 se repiten hasta que no se pueden obtener más disminuciones significativas en la autocorrelación. En algunas realizaciones, se determina mediante la diferencia entre la autocorrelación recalculada y el valor de autocorrelación previa que es menor que el valor umbral (es decir, se determina después de la etapa 131 la diferencia entre la autocorrelación recalculada y el valor de autocorrelación previa, y si la diferencia es mayor que el valor umbral entonces el método regresa a la etapa 127, de otra manera el método pasa a la etapa 133). En algunas realizaciones, si la autocorrelación recalculada es menor que el valor de autocorrelación previa, la actualización del conjunto de ángulos/variables de rotación que conducen a la autocorrelación recalculada es rechazada y se efectúa una rotación más pequeña del espacio de medición en su lugar.

25 En la etapa 133, se determinó que no se pueden obtener más disminuciones significativas en la autocorrelación, el eje y se alinea con el componente lateral (ya que el espacio de autocorrelación es suave, como se muestra en la Figura 6- lo que muestra que el mapa de calor de la autocorrelación en el desfase del tiempo del paso a lo largo del eje y para todas las posibilidades de rotación a lo largo de los ejes x y z). Se notará ahora de la Figura 6 que la falta de mínimos o máximos locales le permite al algoritmo tipo descendiente de colina encontrar confiablemente la rotación óptima que minimiza la autocorrelación (los ángulos de rotación son dados en radianes).

30 El algoritmo de trepar colina en las etapas 127-131: trepar colina es uno de los posibles números de maneras de llegar a un conjunto de ángulos de rotación que maximiza algunos criterios, en este caso una autocorrelación negativa grande sobre el eje y en el desfase de autocorrelación apropiada. El algoritmo inicia con un conjunto inicial de ejes de ángulos de rotación, encuentra hallazgos en los cuales la "dirección" del criterio mejora el paso 127 más rápido (es decir la pendiente mayor), actualiza los ángulos de rotación en esta dirección (etapa 129) y se repite hasta que los criterios no se pueden incrementar adicionalmente.

35 Ya que la rotación a lo largo del eje y no afectará su orientación, solamente la rotación a lo largo de los ejes x y z requiere ser considerada. Estos dos valores de rotación se pueden considerar como un punto bidimensional en el espacio, que se puede mover en una cierta dirección al cambiar los valores. Para estimar la pendiente (etapa 127), por ejemplo, cuatro puntos alrededor de los valores de rotación se pueden seleccionar, dos en cualquier lado de la rotación x y dos a cualquier lado de la rotación z. Los nuevos puntos se deben aproximar cercanamente al punto original.

40 Las calificaciones de criterio se pueden entonces calcular para los nuevos puntos, el punto con la calificación de criterio más alta se puede encontrar, y a una cierta distancia se puede mover en esa dirección. En la práctica, la etapa 129 comprende agregar o sustraer algún valor de uno de los ángulos de rotación y actualizar la matriz de rotación, y la etapa 131 comprende computar una nueva rotación y determinar los valores de autocorrelación. Esto puede ser un valor fijo, o alguna fórmula se puede utilizar para derivar un valor de distancia. La dirección movida puede ser un compuesto de direcciones que mejoran el criterio. También, se pueden utilizar si se desean más de cuatro puntos.

45 Si el nuevo conjunto de ángulos de rotación es una mejora, este conjunto se mantiene y el proceso para seleccionar los nuevos cuatro puntos inicia de nuevo. Si este no es una mejora, los nuevos puntos son rechazados, un movimiento a distancia más pequeño en la misma dirección es ensayado en su lugar. El algoritmo es finalizado cuando no se hacen ningunas mejoras sustanciales, porque no se pueden encontrar direcciones que produzcan mejora, o porque la distancia recorrida se ha vuelto tan pequeña que no se hace ningún progreso real.

50 El conjunto inicial de ángulos de rotación puede ser importante, pero si el espacio de búsqueda es tal que el criterio más alto siempre se encuentra desde cualquier posición inicial, esto no es una preocupación. Se puede ver de la Figura 6 que este es el caso aquí. Prácticamente esto significa que el algoritmo siempre se alinea con el componente lateral, sin importar la orientación original del eje y.

55

Una vez que el componente lateral de aceleración se obtiene en la etapa 105 o 133, los componentes vertical y delantero se pueden entonces alinear a través de las técnicas de estimación de gravedad, que son conocidas en el arte. En particular, las técnicas de estimación de gravedad se pueden utilizar para identificar el componente vertical de aceleración, que deja el componente restante como el componente delantero. Alternativamente, es posible determinar el componente vertical utilizando tales técnicas antes de intentar identificar el componente lateral, y luego encontrar el componente lateral a través de las técnicas descritas anteriormente. En algunos casos encontrar el componente vertical primero es más ventajoso, ya que existen menos grados de libertad cuando se encuentra el componente lateral, particularmente cuando la matriz de rotación es la "fuerza bruta" (es decir la mejor autocorrelación es conmutada para un conjunto fijo de ángulos de rotación)

Se apreciará que el método de acuerdo con la invención es efectivo cuando el usuario está caminando o efectuando un tipo similar de movimiento (por ejemplo, trotar o correr, etc.). Por lo tanto, en cualquiera de las realizaciones anteriores una revisión de las mediciones de aceleración se puede efectuar para determinar si los movimientos del usuario corresponden a caminar y así si la orientación determinada del acelerómetro 6 puede ser considerada confiable. Esta revisión se puede efectuar en cualquier punto en los métodos anteriores, por ejemplo, antes de la etapa 103 en la realización de la Figura 4 y antes de la etapa 123 en la realización de la Figura 5. Esta revisión de las mediciones del acelerómetro puede comprender, por ejemplo, efectuar un caso de patrón de las mediciones de aceleración a patrones conocidos para caminar, o revisar para una frecuencia de etapa en una banda apropiada (por ejemplo 1-2.5 Hz), aunque aquellos expertos en la técnica estarán enterados de otras técnicas que se pueden utilizar para identificar si el usuario está caminando de las mediciones del acelerómetro. Se apreciará que el segundo de estos ejemplos se efectuaría después de la etapa 103 en la Figura 4 y la etapa 123 en la Figura 5. Si el ensayo sugiere que el usuario no está caminando (o trotando, corriendo, etc.), el procesamiento de las mediciones de aceleración para determinar la orientación lateral se puede detener o se puede descartar la orientación determinada como poco confiable.

Existe por lo tanto una técnica suministrada que puede identificar confiablemente el componente lateral de aceleración en las mediciones de aceleración mediante un acelerómetro que se une o es llevado por un usuario que está caminando.

Mientras que la invención se ha ilustrado y descrito en detalle en los dibujos y la descripción anterior, tal ilustración y descripción van a ser consideradas ilustrativas o de ejemplo y no restrictivas; la invención no está limitada a las realizaciones divulgadas

Las variaciones de las realizaciones divulgadas se pueden entender y efectuar por aquellos expertos en la técnica para practicar la invención reivindicada, de un estudio de los dibujos, la divulgación, y las reivindicaciones finales. En las reivindicaciones, la palabra "que comprende" no excluye otros elementos o etapas, y el artículo indefinido "un" o "una" no excluyen una pluralidad. Un procesador único u otra unidad pueden cumplir las funciones de varios ítems citados en las reivindicaciones. El simple hecho de que ciertas mediciones se citen en reivindicaciones dependientes mutuamente diferentes no indica que una combinación de estas mediciones no se pueda utilizar como ventaja. Un programa de ordenador puede ser almacenado/distribuido en un medio adecuado, tal como un medio de razonamiento óptico o un medio de estado sólido suministrado junto con o como parte de otro hardware, pero también se puede distribuir en otras formas, tal como por vía de la Internet u otros sistemas de comunicación alambrados o inalámbricos. Cualquiera de los signos de referencia en las reivindicaciones no se debe considerar como limitante del alcance.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar la orientación de un acelerómetro que es llevado o portado por un usuario, el método comprende:
- 5 - medir la aceleración utilizando el acelerómetro como en la medida en que el usuario se mueve;
- procesar la aceleración medida para determinar la frecuencia de paso del movimiento del usuario; y
- 10 - procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración como un componente de aceleración que tiene una respuesta alta a una frecuencia que corresponde a la mitad de la frecuencia del paso.
2. Un método como se reivindicó en la reivindicación 1, en donde la etapa de procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración comprende:
- 15 - determinar un conjunto de ángulos de rotación para la aceleración medida que minimiza la autocorrelación de la aceleración medida en una dirección particular en un desfase de autocorrelación que está en o alrededor de la mitad de la frecuencia del paso; en donde el componente lateral de aceleración comprende la aceleración medida en la dirección particular
- 20 3. Un método como se reivindicó en la reivindicación 2, en donde la etapa de determinar comprende:
- (i) determinar la autocorrelación de la aceleración medida;
- 25 (ii) calcular la pendiente de autocorrelación y determinar la dirección en la cual ocurre el ángulo mayor de descenso en la autocorrelación;
- (iii) actualizar el conjunto de ángulos de rotación para efectuar una rotación del espacio de medición para reducir el ángulo entre el eje y, y el espacio de medición y la dirección determinada;
- 30 (iv) determinar la autocorrelación de la aceleración en el espacio de medición rotado;
- (v) si la autocorrelación de la aceleración en el espacio de medición rotado es menor que la autocorrelación determinada en la etapa (i), rechazar la actualización del conjunto de ángulos de rotación en la etapa (iii) y repetir las etapas (iii) y (iv) con una rotación más pequeña del espacio de medición;
- 35 (vi) si la autocorrelación de la aceleración en el espacio de medición rotado es mayor que la autocorrelación determinada en la etapa (i) determinar la diferencia entre la autocorrelación determinada en la etapa (iv) y la autocorrelación determinada en la etapa (i); y
- 40 (vii) repetir las etapas (ii) a (vi) si la diferencia es mayor que un valor umbral, de otra manera determinar la aceleración en la dirección en la cual el ángulo mayor de descenso ocurre en el espacio de medición rotado para ser el componente lateral de aceleración.
- 45 4. Un método como se reivindicó en la reivindicación 1, en donde la etapa de procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración comprende transformar las mediciones de aceleración al dominio de frecuencia e identificar el componente lateral de aceleración como el componente de aceleración que tiene una alta respuesta a una frecuencia igual o dentro de un rango predeterminado de la mitad de la frecuencia del paso.
- 50 5. Un método como se reivindicó en las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de procesar la aceleración medida para determinar la frecuencia de etapa del movimiento del usuario comprende:
- computar la magnitud de la aceleración medida;
- 55 - utilizar un algoritmo de detección pico para encontrar la frecuencia del paso en el dominio de frecuencia.
6. Un método como se reivindicó en las reivindicaciones 1-5, en donde la etapa de procesar la aceleración medida para determinar la frecuencia del paso de los movimientos del usuario comprende:
- 60 - computar la magnitud de la aceleración medida;
- calcular la autocorrelación de una señal que representa la magnitud de la aceleración medida;
- identificar la autocorrelación máxima de la señal; e
- 65

- identificar un tiempo del paso para el usuario como el desfase que corresponde a la auto correlaciona máxima de la señal.

7. Un método como se reivindicó en cualquier reivindicación precedente, que comprende además las etapas de:

- procesar la aceleración medida para determinar si el usuario está caminando; y

- procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración si se determina que el usuario está caminando.

8. Un método como se reivindicó en la reivindicación precedente, en donde la etapa de procesar la aceleración medida para determinar si el usuario está caminando comprende determinar si la frecuencia de paso determinada está dentro de un rango predeterminado

9. Un producto de programa de ordenador que tiene código leíble por ordenador de una realización de la presente, el código leíble por ordenador es configurado de tal manera que, a la ejecución de un ordenador adecuado o unidad de procesamiento, el ordenador o la unidad de procesamiento origina el método reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

10. Un aparato para determinar la orientación de un acelerómetro que es llevado portado por un usuario, el aparato comprende:

- una unidad de procesamiento que se configura para recibir mediciones de aceleración del acelerómetro;

- procesar la aceleración medida para determinar la frecuencia del paso de los movimientos del usuario; y

- procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración como un componente de aceleración que tiene una alta respuesta a una frecuencia que corresponde a la mitad de la frecuencia del paso.

11. Un aparato como se reivindicó en la reivindicación 10, en donde la unidad de procesamiento se configura para procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración al:

- determinar un conjunto de ángulos de rotación para la aceleración medida que minimiza la autocorrelación de la aceleración medida en una dirección particular en un desfase de autocorrelación que está en o alrededor de la mitad de la frecuencia del paso; en donde el componente lateral de aceleración comprende la aceleración medida en la dirección particular.

12. Un aparato como se reivindicó en la reivindicación 10 u 11, en donde la unidad de procesamiento se configura para procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración al:

(i) determinar la autocorrelación de la aceleración medida;

(ii) calcular la pendiente de autocorrelación y determinar la dirección en la cual ocurre el ángulo mayor de descenso en la autocorrelación;

(iii) actualizar el conjunto de ángulos de rotación para efectuar una rotación del espacio de medición para reducir el ángulo entre el eje y, y el espacio de medición y la dirección determinada;

(iv) determinar la autocorrelación de la aceleración en el espacio de medición rotado;

(v) si la autocorrelación de la aceleración en el espacio de medición rotado es menor que la autocorrelación determinada en la etapa (i), rechazar la actualización al conjunto de ángulos de rotación en la etapa (iii) y repetir las etapas (iii) y (iv) con una rotación más pequeña del espacio de medición;

(vi) si la autocorrelación de la aceleración en el espacio de medición rotado es mayor que la autocorrelación determinada en la etapa (i) determinar la diferencia entre la autocorrelación determinada en la etapa (iv) y la autocorrelación determinada en la etapa (i); y

(vii) repetir las etapas (ii) a (vi) si la diferencia es mayor que un valor umbral, de otra manera determinar la aceleración en la dirección en la cual el ángulo mayor de descenso ocurre en el espacio de medición rotado para ser el componente lateral de aceleración.

13. Un aparato como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones 10, 11 o 12, en donde la unidad de procesamiento se configura para procesar la aceleración medida para determinar la frecuencia del paso de los movimientos del usuario al computar la magnitud de la aceleración medida; y utilizar un algoritmo de detección pico para encontrar la frecuencia del paso en el dominio de frecuencia.

- 5 14. Un aparato como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones 10, 11 o 12, en donde la unidad de procesamiento se configura para procesar la aceleración medida para determinar la frecuencia del paso de los movimientos del usuario al computar la magnitud de la aceleración medida; calcular la autocorrelación de una señal que representa la magnitud de la aceleración medida; identificar la autocorrelación máxima de la señal; e identificar el tiempo del paso del usuario como el desfase que corresponde a la autocorrelación máxima de la señal.
- 10 15. Un aparato como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones 10-14, en donde la unidad de procesamiento se configura además para procesar la aceleración medida para determinar si el usuario está caminando; y procesar la aceleración medida para identificar un componente lateral de aceleración si se determina que el usuario está caminando.

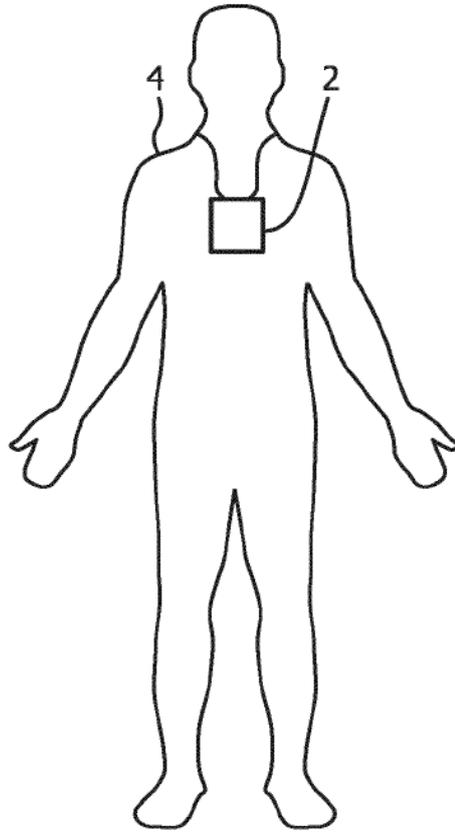


FIG. 1

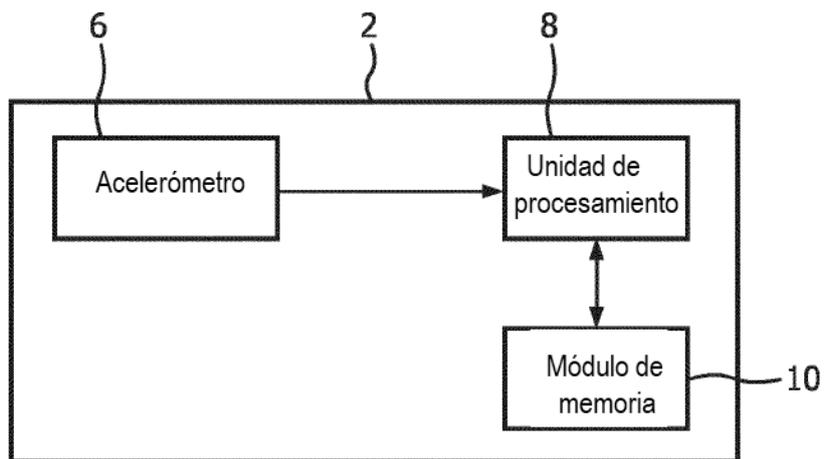


FIG. 2

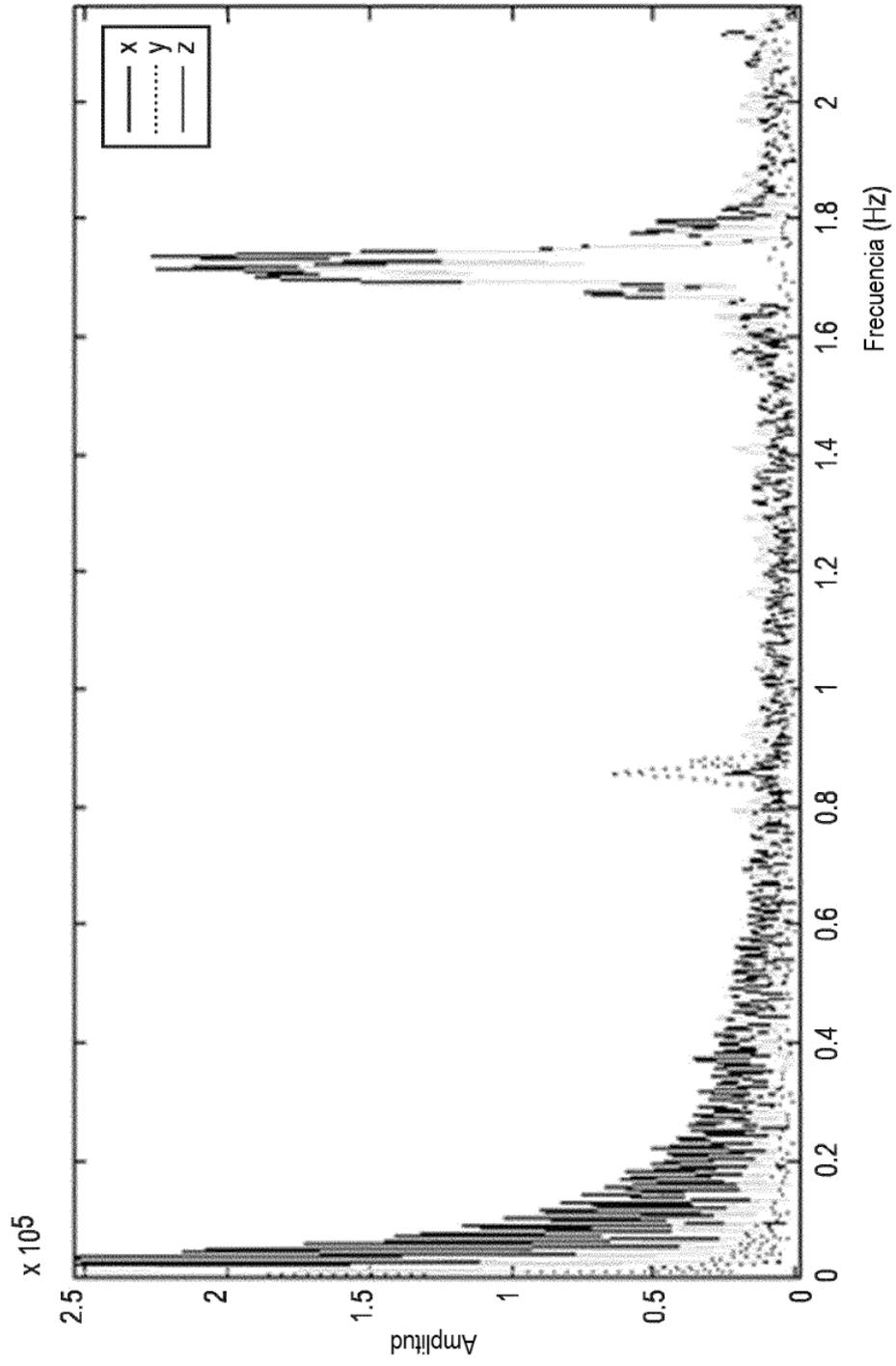


FIG. 3

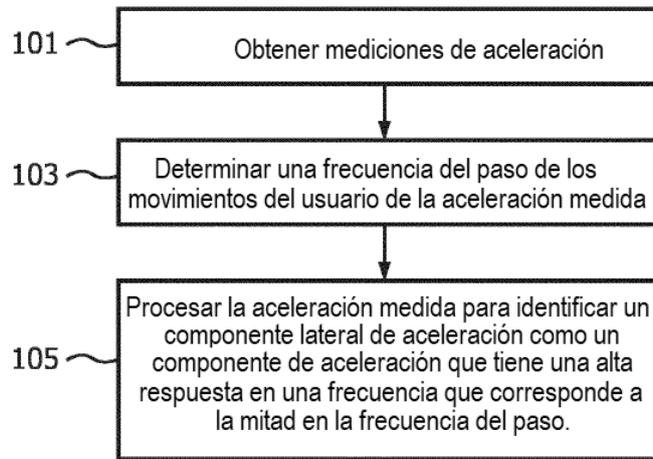


FIG. 4

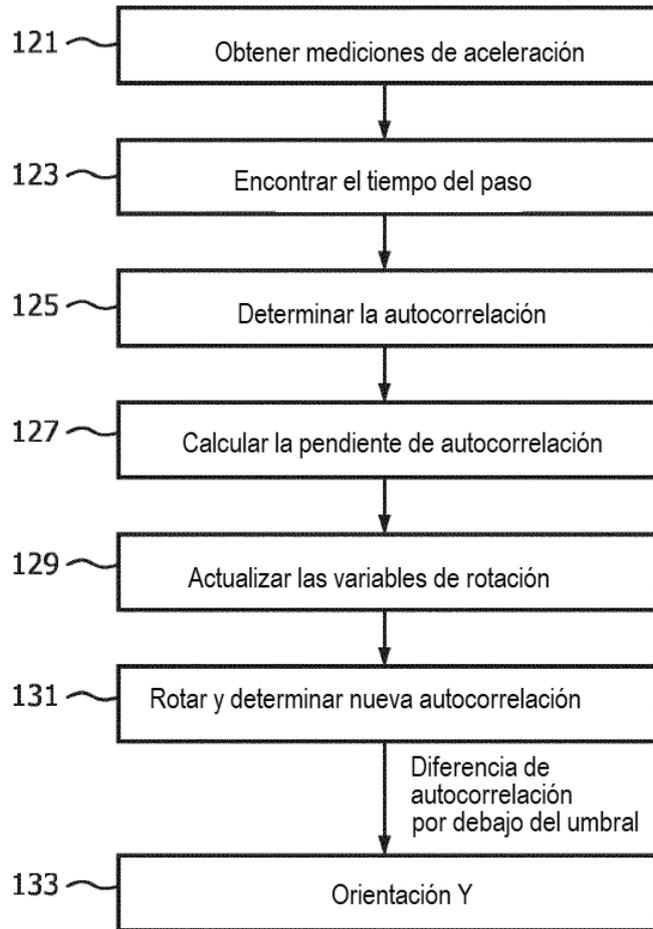
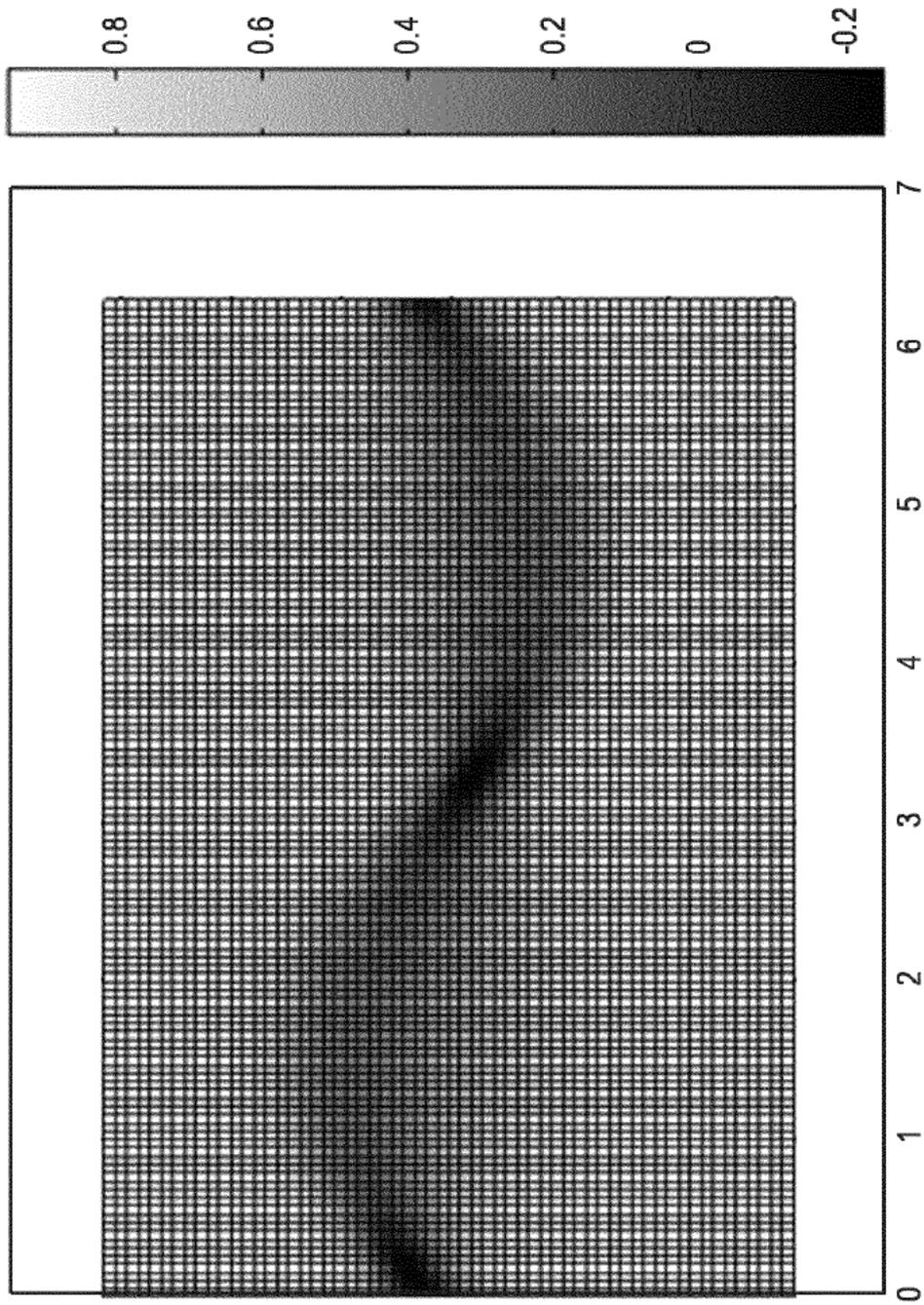


FIG. 5



Rotación a lo largo del eje x

FIG. 6