

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 716 976**

51 Int. Cl.:

A61B 5/11 (2006.01)

A61B 5/00 (2006.01)

G01C 22/00 (2006.01)

G08B 21/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.07.2010 PCT/IB2010/053090**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.01.2011 WO11004322**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2010 E 10740335 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.01.2019 EP 2451351**

54 Título: **Prevención de caídas**

30 Prioridad:

10.07.2009 EP 09165127

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

18.06.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

TEN KATE, WARNER, RUDOLPH, THEOPHILE

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 716 976 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

Prevención de caídas

5 Campo técnico de la invención

La invención se refiere a un método y dispositivo para monitorizar el movimiento de un usuario, y en particular a un método y dispositivo para determinar un riesgo de caída para un usuario.

10 Antecedentes de la invención

Las caídas afectan a millones de personas cada año y da como resultado en lesiones significativas, particularmente en los ancianos. De hecho, se ha estimado que las caídas son una de las tres principales causas de muerte en las personas mayores.

15 Una caída se define como un desplazamiento hacia abajo repentino, descontrolado e involuntario del cuerpo hacia el suelo. Actualmente hay algunos sistemas de detección de caídas disponibles que detectan estas caídas y permiten al usuario obtener asistencia manualmente o automáticamente si ocurre una caída. Los detectores de caídas de ejemplo pueden comprender botones de ayuda personal (PHBs) o detectores automáticos usados y/o basados en el ambiente.

20 Los detectores automáticos de caída comprenden uno o un conjunto de sensores que miden el movimiento del usuario, y un procesador que compara las señales medidas o procesadas con umbrales predeterminados con el fin de detectar una caída. En particular, los detectores automáticos de caída almacenan un conjunto de valores de umbral predeterminados y/o conjuntos de parámetros. Cuando se activa el detector, los datos de movimiento obtenidos de los sensores (tal como, por ejemplo, un acelerómetro) se transformarán y procesarán continuamente, y entonces se compararán con los conjuntos de parámetros para determinar si ocurre un evento de caída.

25 Aunque estos detectores de caídas son útiles, en realidad no previenen caídas, y solo proporcionan una advertencia o alarma en el evento de que un usuario ya se haya caído.

30 Sin embargo, los usuarios inseguros durante la caminata, por ejemplo causado o aumentado por un miedo de caída, por fatiga en los músculos, frecuentemente por multitareas (es decir llevando artículos al caminar, hablando con su nieto, etc., o que se mueven en lugares donde hay iluminación tenue, una superficie de suelo mojada o irregular – tal como alfombra suelta, cables de electricidad, juguetes, herramientas, y otros peligros) o que están bajo medicación que puede afectar el equilibrio o concentración, pueden ser asistidos por un dispositivo para la prevención de caídas que disminuye el riesgo real de caída, o al menos alerta al usuario de que está en un riesgo más alto de caída en un tiempo particular, y los hace sentir más seguros.

40 El documento US 5,919,149 divulga la detección de caídas basada en el análisis de marcha. En el documento DE 10 2005 004086 se encuentra alguna información adicional de antecedentes que describe un proceso para evaluar señales de movimiento en el espacio tridimensional y el documento US 5,485,402 que describe un monitor que registra la actividad de marcha de un portador.

45 Por lo tanto hay una necesidad de un método y dispositivo que pueda determinar un riesgo instantáneo de caída para un usuario.

Resumen de la invención

50 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para determinar un riesgo de caída de un usuario, comprendiendo el método recoger mediciones del movimiento del usuario; estimar un valor para un parámetro relacionado con la marcha del usuario a partir de las mediciones; y determinar un riesgo de caída para el usuario a partir de una comparación del valor estimado con un valor normal para el parámetro determinado a partir del movimiento del usuario en el que el usuario está en su riesgo normal de caída.

55 En una realización preferida, el paso de determinar un riesgo de caída comprende ponderar la comparación entre el valor estimado y el valor normal de acuerdo con una desviación estándar del valor normal.

60 Preferiblemente, el valor estimado se determina a partir del movimiento del usuario durante un período de tiempo más corto que el período de tiempo durante el cual se determina el valor normal.

En una realización preferida, el paso de estimación comprende identificar un límite de paso en las mediciones recogidas.

65 En una realización, el paso de identificar un límite de paso comprende identificar grupos de mediciones contiguas en las mediciones recogidas en las que la magnitud de cada una de las mediciones excede un umbral, aparte de un

subconjunto de las mediciones cuya magnitud es menor que el umbral, siempre que el subconjunto cubra un período de tiempo menor a un umbral de tiempo.

5 En otra realización alternativa, el paso de identificar un límite de paso comprende identificar grupos de mediciones contiguas en las mediciones recogidas, en donde la primera medición recogida en las mediciones recogidas cuya magnitud excede un primer umbral denota la primera medición en un grupo y en donde la primera medición recogida después de la primera medición en el grupo cuya magnitud cae por debajo de un segundo umbral denota la última medición en el grupo, siempre que la última medición sea más que un período mínimo después de la primera medición.

10 En cualquiera de estas realizaciones alternativas, el paso de identificar límites de paso puede comprender además identificar el límite de paso como la medición en cada grupo con la magnitud más alta.

En una realización preferida, el parámetro relacionado con la marcha del usuario comprende un tamaño de paso y el paso de estimar un valor para el parámetro comprende integrar componentes horizontales de las mediciones recogidas con los límites integrales que son dados por límites de paso identificados consecutivos.

15 En una realización preferida, el paso de estimar un valor para el parámetro comprende omitir la velocidad promedio del usuario de la integración de tal manera que el tamaño de paso se determine basado en la variación de la velocidad.

20 En una realización, el parámetro relacionado con la marcha del usuario comprende, o comprende adicionalmente, un tamaño de paso delantero y el paso de estimar un valor para el parámetro comprende integrar componentes horizontales de las mediciones recogidas con los límites integrales que son dados por límites de paso identificados consecutivos para dar una posición inicial y final para un paso; y determinar el tamaño de paso delantero como la norma del vector que conecta las posiciones inicial y final.

25 Preferiblemente, el parámetro relacionado con la marcha del usuario comprende adicionalmente un tamaño de paso lateral y el paso de estimar un valor para el parámetro comprende además definir una línea recta entre las posiciones inicial y final; integrar mediciones recogidas que ocurren durante el paso para dar una serie de posiciones durante el paso; determinar la distancia entre cada posición y la línea recta; y determinar el tamaño de paso lateral como la distancia máxima en esta serie.

En realizaciones preferidas, el método comprende además un paso de calibración que incluye recoger mediciones del movimiento del usuario cuando el usuario está en su riesgo normal de caída; y estimar el valor normal para el parámetro relacionado con la marcha del usuario a partir de las mediciones recogidas.

35 Preferiblemente, el paso de estimación comprende estimar valores para una pluralidad de parámetros relacionados con la marcha del usuario a partir de las mediciones, y el paso de determinar un riesgo de caída comprende comparar los valores estimados con valores de los parámetros determinados a partir del movimiento del usuario en que el usuario está en un bajo riesgo de caída.

40 Preferiblemente, el parámetro o parámetros relacionados con la marcha del usuario se seleccionan del tamaño de paso, ancho de paso, tiempo de paso, tiempo de soporte doble, velocidad de marcha, cadencia, tamaño de paso promedio, tiempo de paso promedio, tiempo de soporte doble promedio, velocidad de marcha promedio y cadencia promedio.

45 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo de prevención de caídas, que comprende al menos un sensor para recoger mediciones del movimiento de un usuario del dispositivo; y un procesador para estimar un valor para un parámetro relacionado con la marcha del usuario a partir de las mediciones, y para determinar un riesgo de caída para el usuario a partir de una comparación del valor estimado con un valor del parámetro determinado a partir del movimiento del usuario en que el usuario está en su riesgo normal de caída.

50 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona un producto de programa informático que comprende un código legible por ordenador que, cuando se ejecuta en un ordenador o procesador adecuado, está configurado para hacer que el ordenador o procesador realicen los pasos del método descrito anteriormente.

55 Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá, solo a modo de ejemplo, con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

60 La figura 1 muestra un dispositivo de prevención de caídas de acuerdo con la invención que es usado por un usuario;

La figura 2 muestra el dispositivo de prevención de caídas de la figura 1 con más detalle;

La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra los pasos en un método de acuerdo con la invención;

65

La figura 4 es una gráfica que ilustra mediciones de un acelerómetro que está en un colgante usado alrededor del cuello de un usuario;

La figura 5 es una gráfica que ilustra mediciones de un acelerómetro que es usado en el tobillo de un usuario; y

La figura 6 es una gráfica que ilustra la derivada de mediciones de un acelerómetro que es usado en el tobillo de un usuario.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Aunque la invención se describirá en términos de un método y dispositivo que se usa para prevención de caídas, se apreciará que el método y dispositivo se pueden proporcionar con funcionalidad adicional de tal manera que el dispositivo también se pueda usar como detector de caídas.

En un ejemplo, el dispositivo de prevención de caídas comprende una única unidad que se usa por un usuario.

La figura 1 muestra un dispositivo 2 de prevención de caídas en la forma de un colgante que se usa alrededor del cuello de un usuario 4 y la figura 2 muestra el dispositivo 2 de prevención de caídas con más detalle.

El dispositivo 2 de prevención de caídas comprende tres sensores, un acelerómetro 6, un magnetómetro 8 y un giroscopio 10, que están conectados a un procesador 12. El procesador 12 recibe mediciones de los sensores 6, 8, 10 y procesa las mediciones para determinar si el usuario 4 del dispositivo 2 de prevención de caídas está en un riesgo más alto de caída.

En particular, el procesador 12 procesa las mediciones desde el acelerómetro 6, magnetómetro 8 y giroscopio 10 para determinar la orientación del dispositivo 2 de prevención de caídas, y procesa las mediciones desde el acelerómetro 6 (usando la orientación determinada) para determinar los parámetros relacionados con el movimiento (y específicamente la marcha) del usuario 2.

Debe entenderse que los tres sensores se incluyen solo a modo de ejemplo. Usando la fusión de sensores, las mediciones de los tres sensores pueden complementarse entre sí para una estimación óptima de la orientación, como es conocido por los experimentados en la técnica. Otros sensores, por ejemplo un barómetro y un receptor GPS, se pueden agregar para mejorar más la precisión de los parámetros estimados por el dispositivo 2. Se apreciará además que se pueden omitir sensores para reducir el consumo de energía y el coste del dispositivo 2 - por ejemplo en un dispositivo 2 mínimo, solo está presente el acelerómetro 6, en cuyo caso solo es posible estimar la inclinación del dispositivo 2.

El dispositivo 2 de prevención de caídas también comprende una alarma 14 que puede ser activada por el procesador 12 para advertir o notificar al usuario 4 que están en un riesgo aumentado de caída. La alarma 14 también puede comprender (o ser reemplazada por) algunos medios que proporcionan al usuario 4 con una indicación de su riesgo actual de caída, incluso si actualmente no están en un riesgo alto de caída. Por ejemplo, el dispositivo 2 de prevención de caídas podría estar provisto con medios para proporcionar retroalimentación vibrotáctil o auditiva, o con una serie de luces (o una luz que puede mostrar diferentes colores) que pueden iluminarse para indicar el riesgo de caída actual (por ejemplo podría haber luces asociadas con el usuario 4 estando en riesgo bajo, medio y alto de caída).

El dispositivo 2 de prevención de caídas también comprende una circuitería 16 de transmisor que permite que el dispositivo 2 de prevención de caídas transmita una señal de alarma o advertencia a una estación base asociada con el dispositivo 2 de prevención de caídas (que entonces puede emitir una alarma o pedir ayuda de un proveedor de atención médica o los servicios de emergencia). La estación base también puede realizar procesamiento adicional de las mediciones de sensor, y/o almacenar las mediciones de sensor para análisis posterior. En ejemplos alternativos la circuitería 16 de transmisor se puede omitir si el dispositivo 2 de prevención de caídas no necesita ponerse en contacto con una estación base para emitir una alarma o pedir ayuda de un proveedor de atención médica (por ejemplo si el dispositivo 2 de prevención de caídas puede contactar el proveedor de atención médica usando sonido).

En otros ejemplos (no representados por el dispositivo 2 que se muestra en la figura 2), el dispositivo 2 de prevención de caídas puede incluir una unidad de memoria para almacenar las mediciones de sensor para análisis posterior.

Es conocido que una gran varianza en los parámetros de marcha (es decir parámetros asociados con la marcha de un usuario) corresponde a un riesgo alto de caída. Sin embargo, esta es una relación estática; la varianza es un promedio obtenido durante la caminata general, y está relacionada con un riesgo promedio de caída, que no necesariamente proporciona alguna información sobre el riesgo actual de caída para el usuario 4. Los parámetros de marcha pueden incluir medidas tal como el tamaño de paso, ancho de paso, tiempo de paso, tiempo de soporte doble (es decir el tiempo que ambos pies están en contacto con el suelo), velocidad de marcha, y cadencia. Los parámetros de marcha también pueden incluir promedios de las medidas anteriores sobre unos pocos pasos, así que por ejemplo un tamaño de paso promedio, ancho de paso promedio, tiempo de paso promedio, tiempo de soporte doble promedio, velocidad de marcha promedio y cadencia promedio.

De acuerdo con la invención, el dispositivo 2 de prevención de caídas determina valores para los parámetros de marcha a partir de mediciones de sensor que cubren un corto período de tiempo y compara estos valores con valores normales para el usuario 4 (es decir valores que se obtienen cuando el usuario 4 está en su riesgo normal (es decir preferiblemente un bajo o mínimo) riesgo de caída). En particular, el dispositivo 2 de prevención de caídas puede determinar diversos parámetros de marcha a partir de mediciones de sensor que cubren, por ejemplo, 12 pasos (por lo que 6 zancadas). Los valores normales para el usuario 4 pueden obtenerse recogiendo mediciones mientras el usuario 4 está caminando constantemente por un período de tiempo (por ejemplo un minuto) o por un cierto número de pasos (por ejemplo 40 pasos).

Se muestra un método para determinar un riesgo dinámico de caída de acuerdo con la invención en la figura 3. En el paso 101, los sensores 6, 8, 10 toman mediciones del movimiento del usuario 4 y en el paso 103, el procesador 12 estima valores para los parámetros de marcha requeridos a partir de las mediciones. En el paso 105, el procesador 12 entonces compara estas estimaciones con valores usuales de estos parámetros de marcha para que el usuario 4 determine el riesgo dinámico de caída del usuario. Como se indicó anteriormente, los valores usuales corresponden a los observados cuando el usuario 4 está en su riesgo normal (es decir preferiblemente un mínimo o bajo) de caída.

Los valores normales o usuales para los parámetros de marcha pueden obtenerse durante una sesión de calibración antes de que se use el dispositivo 2 de prevención de caídas (por ejemplo el usuario 4 puede usar el dispositivo 2 de prevención de caídas mientras está en un modo de calibración, y el dispositivo 2 de prevención de caídas puede determinar valores para cada parámetro de marcha mientras el usuario 4 está caminando normalmente).

En una realización preferida de la invención, la comparación entre los valores estimados y los valores normales se ponderó de acuerdo con la desviación estándar de los valores de parámetro de marcha normal.

Por ejemplo, si μ representa la media de calibración (es decir la media de los valores normales para un parámetro particular), σ representa la desviación estándar en esa media de calibración, y a representa el valor de parámetro observado actualmente, se señala una desviación si

$$\frac{|a - \mu|}{\sigma} \quad (1)$$

excede un umbral.

Por ejemplo,

$$\exp\left[-\frac{(a - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

se aplica a un valor entre 0 y 1, donde 1 indica marcha normal (para ese usuario), y se señala una desviación de la marcha normal (es decir el usuario está en un riesgo más alto de caída) si el resultado cae por debajo de un umbral, por ejemplo 0.7.

Se apreciará que los valores para μ y σ usualmente dependen del usuario y necesitaran configurarse independientemente para cada usuario.

En una realización de la invención, el procesador 12 estima valores para un tamaño de paso promedio y un ancho de paso promedio. Sin embargo, en otros ejemplos de la invención, se pueden usar otras combinaciones de parámetros de marcha.

La operación del procesador 12 para determinar estimaciones para parámetros de marcha específicos se describirá más adelante. Como se mostrará, en el ejemplo en el que el dispositivo 2 de prevención de caídas es un colgante ubicado alrededor del cuello del usuario 4, la forma en que se calculan los promedios a y μ los relaciona con la varianza en el tamaño de paso en lugar de con la media, como se explicará más adelante. De este modo, la invención compara efectivamente las varianzas actuales y normales. Debe anotarse que a se promedia típicamente sobre un período más corto que μ .

Además, aunque en un ejemplo el dispositivo 2 de prevención de caídas está en la forma de un colgante para usar alrededor del cuello de un usuario 4, se apreciará que la invención puede implementarse en formas alternativas que se deben usar en diferentes partes del cuerpo del usuario 4, tal como en la cintura o en el tobillo del usuario 4. Como se describe más adelante, en estos ejemplos es necesario modificar el procesamiento usado para determinar los parámetros de marcha a partir de las mediciones de sensor.

Además, dependiendo de los parámetros de marcha particulares que el procesador 12 determina a partir de las mediciones de sensor (y si los movimientos del usuario 4 no causan rotaciones rápidas del dispositivo 2 de prevención de caídas), el giroscopio 10, el magnetómetro 8 o tanto el magnetómetro 8 como giroscopio 10 se pueden omitir del dispositivo 2. En los ejemplos en los que el dispositivo 2 de prevención de caídas es un colgante, se ha encontrado que la estimación de variación de marcha es menos sensible sin el giroscopio 10, pero aún es capaz de detectar desviaciones de la marcha normal.

Estimar el tamaño de paso

Con el fin de obtener una estimación del tamaño de paso, se requieren un número de pasos de procesamiento. En particular, es necesario estimar los límites de paso y la orientación del acelerómetro (de tal manera que las mediciones de acelerómetro puedan transformarse en coordenadas de la Tierra) con el fin de estimar el tamaño del paso o zancada.

Estimar los límites de paso - es importante estimar con precisión los límites de pasos (que se definen como el momento de golpe de talón (HS), es decir cuando la pierna oscilante está tocando el suelo de nuevo, comenzando la fase de postura), dado que fallar un límite causará una desviación significativa en a , por tanto conduciendo a una alarma.

Los límites de paso también se pueden usar para estimar el tiempo de avance, que es otro parámetro de marcha, y, cuando se combinan con el tamaño de paso, permiten determinar una estimación de velocidad de caminata.

Para los acelerómetros que están rígidamente conectados a la parte superior del cuerpo de un usuario, los límites de paso usualmente se encuentran al observar el cruce "cero" de la aceleración vertical. Por supuesto, se apreciará que el "cruce" real será a través de $1g$ ($9.81ms^{-2}$) dado que la gravedad siempre actúa sobre el usuario. La aceleración vertical se conocerá después de que se determine la orientación del acelerómetro - aunque para acelerómetros montados rígidamente, la lectura de acelerómetro a lo largo del eje de coordenadas correspondiente al vertical usualmente proporciona una aproximación suficiente.

Sin embargo, en el ejemplo en el que el dispositivo 2 de prevención de caídas está en la forma de un colgante, el dispositivo 2 de prevención de caídas (y por lo tanto el acelerómetro 6) es libre de moverse en relación con el usuario 4, lo que significa que el sistema de coordenadas de acelerómetro también se mueve en relación con el usuario 4.

Por lo tanto, se prefiere modificar la detección de límites de paso (es decir golpes de talón) de la siguiente forma. En primer lugar, se calcula la norma de la señal del acelerómetro 6. Entonces, los picos en esta señal sirven como marcadores de límite para cada paso, que se unen de manera cercana con el golpe de talón (HS), como se muestra en la figura 4.

Los picos se encuentran usando un procedimiento de dos pasos. Primero, se identifican los llamados grupos. Segundo, el valor máximo en cada grupo se identifica como el límite de paso. Los grupos se encuentran como el rango de muestras que están por encima de un cierto umbral (típicamente $2 ms^{-2}$ por encima de gravedad, es decir $\sim 12 ms^{-2}$), donde se permite una pequeña brecha de muestras que no superan ese umbral (típicamente 0.3 veces un tiempo de paso típico (que es alrededor de 0.5 segundos), es decir 0.15 segundos).

Este algoritmo funciona para acelerómetros 6 que están conectados a la parte superior del cuerpo del usuario 4. Si el acelerómetro 6 está conectado en o a la parte inferior del cuerpo del usuario 4 (por ejemplo el tobillo), entonces usualmente aparecen dos grupos por paso, o en realidad por zancada, como se muestra en la figura 5. Dado que la señal de acelerómetro se observa en el tobillo, se ve el período de una zancada (es decir un paso con tanto el pie izquierdo como con el pie derecho).

Un grupo corresponde a la elevación del pie, y el otro corresponde al golpe de talón. Puede ser difícil decidir cuál de los dos es el golpe de talón. Sin embargo, también se puede observar que ocurre un mínimo único por paso, y esto puede usarse en su lugar para detectar los límites de paso.

La figura 5 también muestra otra forma de identificar los grupos. En lugar de un único umbral (con una pequeña brecha que es permitida), se usan dos umbrales. Introducen una histéresis - superar un umbral indica el inicio de un grupo, y caer por debajo del segundo umbral indica el final de un grupo, siempre que las mediciones caigan por debajo del segundo umbral después de una duración mínima desde la primera medición en el grupo. Preferiblemente, la duración mínima se deriva del tiempo de paso, como se describe anteriormente.

El mínimo único que se muestra para cada zancada en la figura 5 corresponde a la fase de oscilación y es menos favorable usar esto como el límite de paso. En su lugar, es preferible usar el golpe de talón como el límite de paso por varias razones. En primer lugar, este es un evento claramente definido. En segundo lugar, al medir en los pies o tobillo, en el golpe de talón la velocidad relativa al suelo es cero, que se puede usar en la estimación del movimiento. En tercer lugar, en el golpe de talón, la aceleración en la dirección horizontal es baja, lo que conduce a errores más bajos al integrar (doble) la aceleración para estimar el tamaño de paso. Los valores de muestra en el comienzo de la

integración tienen una gran influencia en el resultado, por lo que los valores grandes pueden causar un sesgo en el resultado total.

Un mejor algoritmo para detectar los límites de paso cuando el acelerómetro 6 está ubicado en la parte inferior del cuerpo del usuario 4 se encuentra al observar la derivada de la aceleración, como se muestra en la figura 6. Los límites son más claros, y se asocian con el evento de golpe de talón.

Se apreciará que como se pueden usar diferentes algoritmos para diferentes ubicaciones de dispositivo 2 de prevención de caídas en el cuerpo del usuario, el procesador 12 en el dispositivo 2 de prevención de caídas necesita conocer la ubicación usada. El usuario 4 puede ser capaz de seleccionar una ubicación apropiada de una lista de ubicaciones ofrecidas por el procesador 12, o, alternativamente, el procesador 12 puede ejecutar un algoritmo clasificador para detectar la ubicación (y por lo tanto el algoritmo a usar para detectar el límite de paso) basado en los patrones particulares en las mediciones del acelerómetro 6.

Estimar la orientación de acelerómetro - La orientación del acelerómetro 6 (y por lo tanto el dispositivo 2 de prevención de caídas) se puede estimar a partir de la dirección en que aparece la gravedad en el sistema de coordenadas de acelerómetro. Al definir el eje z para que corresponda con la dirección vertical cuando el acelerómetro 6 no está inclinado, la orientación sigue a través del producto punto de vector de la dirección de gravedad medida y el eje z, es decir a través del componente z de la gravedad medida (como es conocido, al usar valores normalizados, el producto punto es igual al coseno del ángulo incluido).

Dado que el acelerómetro 6 es sensible tanto a la aceleración debida a la gravedad como a la aceleración debida al movimiento, se necesita un filtro con el fin de estimar qué componente se debe a la gravedad. Usualmente, se agrega un giroscopio 10 para medir la velocidad de rotación angular y para corregir la aceleración medida de manera correspondiente. Sin embargo, si los movimientos del usuario 4 no causan rotaciones rápidas del dispositivo 2 de prevención de caídas, se puede omitir el giroscopio 10.

Sin rotaciones rápidas, el componente de gravedad se puede encontrar como el componente filtrado de paso bajo de la señal del acelerómetro 6. Dado que las restricciones de causalidad en el diseño de filtro introducen una demora, la señal de aceleración filtrada necesita corregirse para esta demora.

Desde la dirección medida de gravedad, se puede estimar la inclinación u orientación del dispositivo 2 de prevención de caídas. Sin embargo, esta inclinación u orientación no proporciona información sobre la dirección horizontal del dispositivo 2 (es decir en qué forma está orientado el dispositivo 2), por lo que el magnetómetro 8 se puede usar para determinar la orientación horizontal del dispositivo 2. Los giroscopios también se pueden usar en la estimación de la orientación horizontal.

La orientación se puede expresar de diferentes formas, de las cuales los ángulos de Euler y parámetros de Euler son los más usados comúnmente. Usualmente se implementan a través de matrices o cuaterniones. Las álgebras son isomorfas, y proporcionan una forma de transformar los valores medidos (aceleración etc.) como se expresa en el sistema de coordenadas local del acelerómetro al sistema de coordenadas global (Tierra).

Estimar los tamaños de paso o zancada - una vez que las señales de aceleración se han transformado al sistema de coordenadas de la Tierra, los tamaños de paso se pueden calcular mediante integración doble (con respecto al tiempo) de los componentes horizontales de estas señales transformadas. Los límites para las integraciones están dados por los límites de paso estimados. Las constantes de integración, velocidad y posición en el comienzo del paso, se establecen ambos en cero.

Para la posición esto está bien, dado que se necesita el tamaño de paso, que es la diferencia entre la posición final e inicial.

Para la velocidad esto es correcto en el caso de que el dispositivo 2 esté ubicado en un pie del usuario 4, dado que tras el golpe de talón la velocidad relativa a la Tierra es cero. Sin embargo, cuando el dispositivo 2 está ubicado en la parte superior del cuerpo del usuario 4, por ejemplo cuando el dispositivo 2 es un colgante, habrá una velocidad casi constante. Por lo tanto, establecer la velocidad a cero en cada límite de paso introducirá errores, dado que una velocidad constante produce una estimación de tamaño de paso más grande. Sin embargo, si se supone que la velocidad es constante durante el período de observación, es decir durante el período promediado (típicamente alrededor de 10-12 pasos para determinar μ , y alrededor de 30-60 segundos para determinar μ), se puede omitir el componente de velocidad constante. Esto significa que el tamaño de paso se puede calcular basado en la variación en la velocidad, lo que significa que el dispositivo 2 (y el riesgo de caída estimado) se volverán independientes de la velocidad de caminata actual - solo se observarán las desviaciones.

El tamaño de paso p sigue como la integral de velocidad v sobre el tiempo de paso:

$$p = \int_{HS_0}^{HS_1} v \, dt = \bar{v}(HS_1 - HS_0) + \int_{HS_0}^{HS_1} \Delta v \, dt \quad (3)$$

donde HS_0 y HS_1 son los tiempos de golpes de talón (HS) posteriores y $\bar{v}$ y Δv denotan la velocidad promedio y su desviación respectivamente.

- 5 Definir el tiempo de paso $T = HS_1 - HS_0 = \bar{T} + \Delta T$, y $p = \bar{p} + \Delta p$, donde $\bar{p} = \bar{v}\bar{T}$, la desviación en el tamaño de paso sigue como:

$$\Delta p = \bar{v}\Delta T + \int_{HS_0}^{HS_1} \Delta v dt \quad (4)$$

- 10 Debe anotarse que, por definición, la media de $(\Delta p)^2$ es igual a la varianza de p . La desviación de velocidad Δv se puede calcular a partir de la aceleración medida a través de:

$$\Delta v(t) = \Delta v(HS_0) + \int_{HS_0}^t a dt' \quad (5)$$

- 15 A velocidad de caminata constante,

$$\int_{HS_0}^{HS_1} a dt \approx 0 \quad (6)$$

- 20 y es razonable suponer que $\Delta v(HS_0)$ es aproximadamente el mismo en cada paso. Entonces, al descuidar el primer término en la ecuación (4) anterior, Δp se aproxima como:

$$\Delta p \approx \int_{HS_0}^{HS_1} \Delta v(HS_0) dt + \int_{HS_0}^{HS_1} dt \int_{HS_0}^t a dt' = \Delta v(HS_0)(HS_1 - HS_0) + \int_{HS_0}^{HS_1} dt \int_{HS_0}^t a dt' = \mu + \Delta s \quad (7)$$

- 25 El segundo término, Δs , es el resultado de la doble integración de la aceleración al usar constantes de integración cero. Dado que, por definición, $E[\Delta p] = 0$, resulta que

$$\mu = -E[\Delta s] \quad (8)$$

- 30 Por lo que, se puede obtener una aproximación de primer orden de μ observando la aceleración (horizontal) bajo condiciones de caminata estable y calculando la media de la aceleración integrada doble. Este proceso también produce una desviación estándar:

$$\mu_0 = \text{media}(\Delta_{\text{estable}}) \quad (9)$$

$$\sigma_0 = \text{std}(\Delta s_{\text{estable}}) \quad (10)$$

Por lo que, μ_0 estima $-\mu$, y la varianza de p sigue como

$$\text{var}(p) = E[(\Delta p)^2] = \mu^2 + \mu_0^2 + \sigma_0^2 \quad (11)$$

- 40 En casos típicos, $\sigma_0^2 \ll \mu_0^2$ y $\text{var}(p) \approx 2\mu^2$. Durante la operación, se realiza una estimación de ejecución $a = E[\Delta s]$ sobre unos pocos pasos, y se compara con μ_0 en relación a σ_0 , véase ecuación (1). Por lo que, aunque se comparan los valores medios, básicamente reflejan la varianza en los tamaños de paso.

- 45 Los valores μ_0 y σ_0 dependen del usuario y necesitan configurarse para cada usuario en una fase de calibración. Nótese, sin embargo, que dado que la velocidad promedio $\bar{v}$ no se tiene en cuenta en los cálculos, el método es insensible a la velocidad de caminata real del usuario 4.

- 50 El primer término $\bar{v}\Delta T$ en la expresión para Δp anterior se ha descuidado e introduce un error. Es proporcional a la velocidad promedio y la desviación en tiempo de paso. Como un refinamiento, podría incluirse en la estimación de Δp .

- 55 Dado que la estimación de orientación contiene errores, siempre hay alguna forma de fuga por gravedad en las aceleraciones horizontales (es decir las aceleraciones horizontales incluirán algún componente debido a la gravedad) y la integración doble puede inducir grandes errores en el tamaño de paso estimado. Una forma de suprimir esta fuga es mediante filtrado de paso de banda (o filtrado de paso alto) de las señales del acelerómetro 6, preferiblemente usando un filtro de fase lineal de tal manera que se mantenga la forma de onda de la señal. Las frecuencias de corte típicas son 0.1 Hz y 20-40 Hz (donde la aplicación real de la frecuencia de corte superior también depende de la frecuencia de muestreo usada). Este filtrado de paso de banda no es necesario.

Una medida que se ha encontrado que es particularmente efectiva es la eliminación de tendencia por intervalo de integración (paso o zancada) de la aceleración. Esto equivale a requerir que la aceleración promedio (desde el golpe de talón inicial hasta el golpe de talón final) sea cero. En otras palabras, la velocidad después de la integración es igual a la velocidad en el inicio de la integración (que es cero). La aceleración con eliminación de tendencia se obtiene restando la aceleración integrada, dividida por la duración de paso, de la aceleración medida. La aceleración con eliminación de tendencia se usa para calcular el tamaño de paso como se describe anteriormente.

Suponiendo que no hay errores en la transformación de sistema de coordenadas, por ejemplo debido a inhomogeneidad en la dirección y tamaño del campo geomagnético, esta integración produce la dirección de un paso en términos de norte-sur y este-oeste. Sin embargo, para la estabilidad de marcha es necesario examinar el movimiento en direcciones delanteras y laterales. Esto se resuelve de la siguiente forma.

La posición inicial (que es el origen, por definición) y la posición final se calculan como se explica anteriormente. Su diferencia abarca un vector 2D en el plano horizontal. Entonces, el tamaño de paso delantero se define como la norma de este vector 2D, es decir como la distancia de la posición final desde la posición inicial (debe anotarse que, como una consecuencia, los Δp anteriores son siempre positivos). Posteriormente, se define una línea recta entre la posición inicial y la posición final y la distancia se determina entre esta línea y cada punto a partir de la doble integración de las mediciones de acelerómetro durante el paso. La distancia máxima en esta serie se toma como el tamaño de paso lateral.

El tiempo de paso sigue como la duración entre los límites de paso estimados, y la velocidad como la proporción entre el tamaño de paso y tiempo de paso (en el evento de que el dispositivo 2 esté ubicado en un pie del usuario 4).

Mientras que los tamaños de zancada se calculan cuando el dispositivo 2 está en la parte inferior del cuerpo del usuario 4, el tamaño de paso se puede calcular cuando el dispositivo 2 está en la parte superior del cuerpo del usuario 4, produciendo un promedio dos veces más rápido.

Se apreciará por los experimentados en la técnica que se pueden usar métodos alternativos para determinar el tamaño de paso que no requieren la doble integración de las mediciones de aceleración horizontal. Estos métodos incluyen, el modelo de péndulo invertido [Zijlstra & Hof, Displacement of the pelvis during human walking, Gait and Posture 6, 1997, 249- 267] y la raíz de la cuarta potencia de la diferencia entre la aceleración vertical máxima y mínima [Weinberg, Using the ADXL202 in Pedometer and Personal Navigation Applications, Application Note AN-602, Analog Devices, 2002].

Aunque se ha descrito un ejemplo en términos de un colgante para usar alrededor del cuello de un usuario 4, se apreciará que la invención se puede implementar en formas alternativas que se usarán en diferentes partes del cuerpo del usuario 4. Por supuesto, en estos ejemplos, será necesario modificar el procesamiento usado para determinar los parámetros de marcha a partir de las mediciones de sensor, pero estas modificaciones serán fácilmente evidentes para una persona experimentada en la técnica basada en la descripción proporcionada anteriormente.

En el ejemplo descrito con referencia a la figura 2, la recogida y procesamiento de las mediciones de sensor se realiza en una única unidad. Sin embargo, en ejemplos alternativos el procesamiento de las mediciones se puede realizar en una unidad que está remota de los sensores, en cuyo caso el dispositivo 2 de prevención de caídas comprenderá una unidad de sensor que se usará por el usuario 4 que transmite las mediciones de sensor a la unidad remota. En este ejemplo no hay necesidad de que la unidad de sensor incluya un procesador dedicado.

Por lo tanto se proporciona un método y dispositivo que pueden determinar un riesgo instantáneo de caída para un usuario.

Se apreciará que los algoritmos descritos anteriormente que se usan para determinar diversos parámetros de marcha se pueden usar en aplicaciones aparte de prevención de caídas. Por ejemplo, se pueden usar en aplicaciones de monitorización de actividad y aptitud física tal como entrenamiento de resistencia (por ejemplo para apoyar el mantenimiento de cadencia durante la marcha lenta). Los algoritmos pueden usarse en contadores de pasos o dispositivos que son compatibles con la prevención de lesiones, por ejemplo durante la marcha lenta. Además los algoritmos se pueden usar en un dispositivo o sistema que usa parámetros de marcha como un biométrico para identificar a un individuo.

A pesar de que la invención se ha ilustrado y descrito en detalle en los dibujos y la descripción precedente, tal ilustración y descripción deben considerarse ilustrativas o de ejemplo y no restrictivas; la invención se define por las reivindicaciones.

Pueden entenderse y efectuarse variaciones a las realizaciones divulgadas por los experimentados en la técnica al practicar la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, la divulgación, y las reivindicaciones anexas. En las reivindicaciones, la palabra "que comprende" no excluye otros elementos o pasos. Un único procesador u otra unidad puede cumplir las funciones de varios artículos enumerados en las reivindicaciones. El simple hecho de que

- 5 ciertas medidas se enumeren en las reivindicaciones dependientes mutuamente diferentes no indica que una combinación de estas medidas no se pueda usar como ventaja. Un programa informático puede almacenarse/distribuirse en un medio adecuado, tal como un medio de almacenamiento óptico o un medio de estado sólido suministrado junto con o como parte de otro hardware, pero también puede distribuirse en otras formas, tal como a través de Internet u otros sistemas de telecomunicación cableados o inalámbricos. Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no debe interpretarse como limitante del alcance.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar un riesgo de caída de un usuario, comprendiendo el método:

5 recoger mediciones del movimiento del usuario usando un sensor;

estimar un valor para un parámetro relacionado con la marcha del usuario a partir de las mediciones usando un procesador; y

10 determinar un riesgo de caída para el usuario, usando el procesador, a partir de una comparación del valor estimado con un valor normal para el parámetro determinado a partir del movimiento del usuario en el que el usuario está en su riesgo normal de caída;

caracterizado porque

15 el paso de estimación comprende identificar un límite de paso en las mediciones recogidas mediante:

(i) identificar grupos de mediciones contiguas en las mediciones recogidas en las que la magnitud de cada una de las mediciones excede un umbral, aparte de una brecha en las mediciones, en donde las magnitudes de las mediciones en la brecha son menores que el umbral, siempre que la brecha cubra un período de tiempo menor que un umbral de tiempo; o

25 (ii) identificar grupos de mediciones contiguas en las mediciones recogidas, en donde la primera medición recogida en las mediciones recogidas cuya magnitud excede un primer umbral denota la primera medición en un grupo y en donde la primera medición recogida después de la primera medición en el grupo cuya magnitud cae por debajo de un segundo umbral denota la última medición en el grupo, siempre que la última medición sea más que un período mínimo después de la primera medición.

30 2. Un método como el reivindicado en la reivindicación 1, en donde el paso de determinar un riesgo de caída comprende ponderar la comparación entre el valor estimado y el valor normal de acuerdo con una desviación estándar del valor normal.

35 3. Un método como el reivindicado en la reivindicación 1 o 2, en donde el valor estimado se determina a partir del movimiento del usuario sobre un período de tiempo que es más corto que el período de tiempo sobre el cual se determina el valor normal.

4. Un método como el reivindicado en la reivindicación 1, en donde el paso de identificar límites de paso comprende además identificar el límite de paso como la medición en cada grupo con la magnitud más alta.

40 5. Un método como el reivindicado en la reivindicación 1, en donde el paso de identificar límites de paso comprende además identificar el límite de paso como un mínimo entre dos grupos identificados consecutivos.

45 6. Un método como el reivindicado en cualquier reivindicación precedente, en donde el parámetro relacionado con la marcha del usuario comprende un tamaño de paso y el paso de estimar un valor para el parámetro comprende integrar componentes horizontales de las mediciones recogidas con los límites integrales que son dados por límites de paso identificados consecutivos.

50 7. Un método como el reivindicado en la reivindicación 6, en donde el paso de estimar un valor para el parámetro comprende calcular una doble integración con respecto al tiempo de los componentes horizontales de las mediciones recogidas relacionadas con la aceleración, siendo establecidas las constantes de integración a cero en el comienzo del paso.

55 8. Un método como el reivindicado en cualquier reivindicación precedente, en donde el parámetro relacionado con la marcha del usuario comprende, o comprende adicionalmente, un tamaño de paso delantero y el paso de estimar un valor para el parámetro comprende:

Integrar componentes horizontales de las mediciones recogidas con los límites integrales que son dados por límites de paso identificados consecutivos para dar una posición inicial y final para un paso; y

60 determinar el tamaño de paso delantero como la norma del vector que conecta las posiciones inicial y final.

9. Un método como el reivindicado en la reivindicación 7 u 8, en donde el parámetro relacionado con la marcha del usuario comprende adicionalmente un tamaño de paso lateral y el paso de estimar un valor para el parámetro que comprende además:

65 definir una línea recta entre las posiciones inicial y final;

integrar mediciones recogidas que ocurren durante el paso para dar una serie de posiciones durante el paso;

determinar la distancia entre cada posición y la línea recta; y

determinar el tamaño de paso lateral como la distancia máxima en esta serie.

10. Un método como el reivindicado en cualquier reivindicación precedente, que comprende además un paso de calibración que incluye:

recoger mediciones del movimiento del usuario cuando el usuario está en su riesgo normal de caída; y

estimar el valor normal para el parámetro relacionado con la marcha del usuario a partir de las mediciones recogidas.

11. Un dispositivo de prevención de caídas, que comprende:

al menos un sensor para recoger mediciones del movimiento de un usuario del dispositivo; y

un procesador para estimar un valor para un parámetro relacionado con la marcha del usuario a partir de las mediciones, y para determinar un riesgo de caída para el usuario a partir de una comparación del valor estimado con un valor del parámetro determinado a partir del movimiento del usuario en el que el usuario está en su riesgo normal de caída

caracterizado porque el procesador está configurado para estimar el valor para un parámetro relacionado con la marcha del usuario identificando un límite de paso en las mediciones recogidas mediante:

(i) identificar grupos de mediciones contiguas en las mediciones recogidas en las que la magnitud de cada una de las mediciones excede un umbral, aparte de una brecha en las mediciones, en donde las magnitudes de las mediciones en la brecha son menores que el umbral, siempre que la brecha cubra un período de tiempo menor que un umbral de tiempo; o

(ii) identificar grupos de mediciones contiguas en las mediciones recogidas, en donde la primera medición recogida en las mediciones recogidas cuya magnitud excede un primer umbral denota la primera medición en un grupo y en donde la primera medición recogida después de la primera medición en el grupo cuya magnitud cae por debajo de un segundo umbral denota la última medición en el grupo, siempre que la última medición sea más que un período mínimo después de la primera medición.

12. Un producto de programa informático que comprende código legible por ordenador que, cuando se ejecuta en un ordenador o procesador adecuado, está configurado para hacer que el ordenador o procesador realicen los pasos en el método definido en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

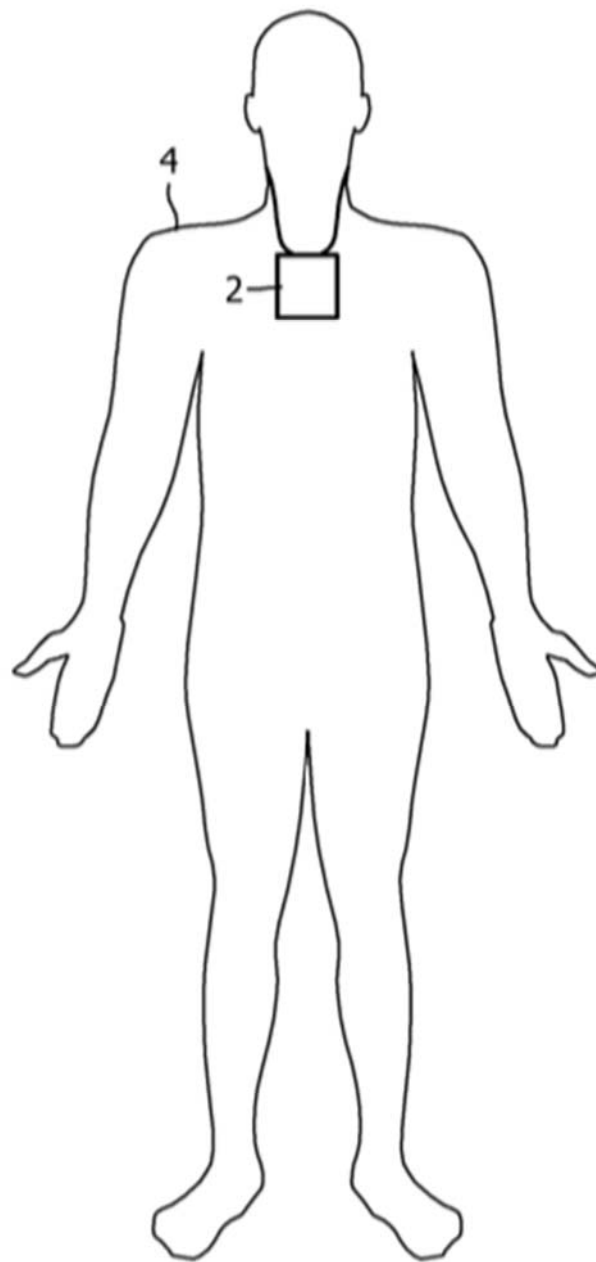


FIG. 1

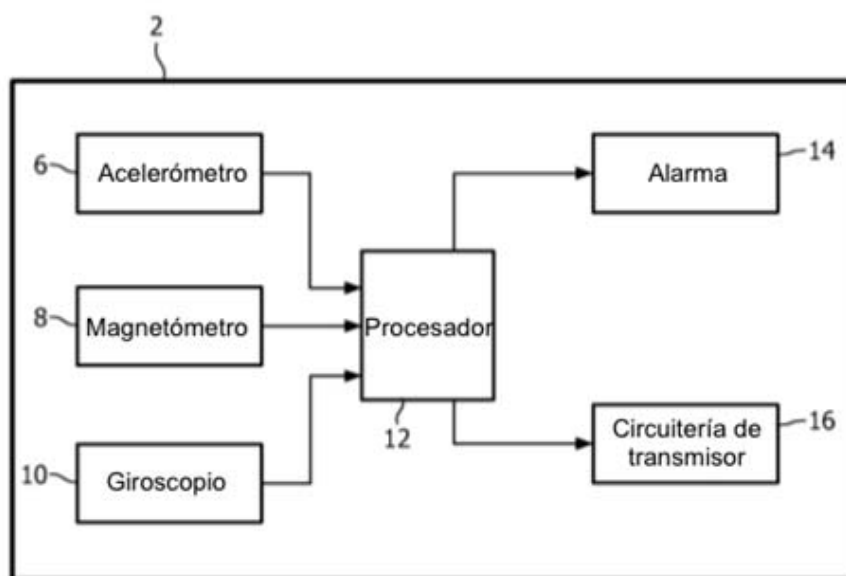


FIG. 2

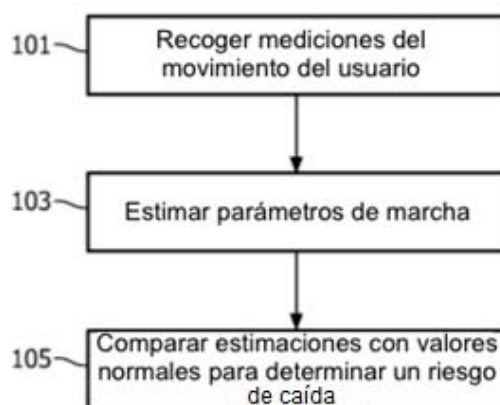


FIG. 3

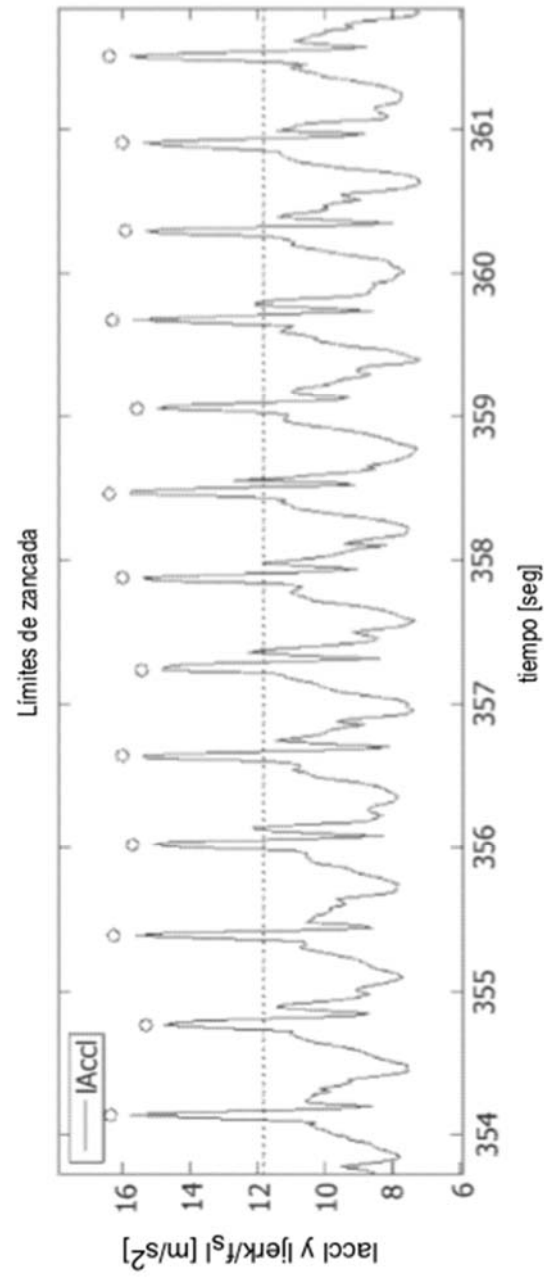


FIG. 4

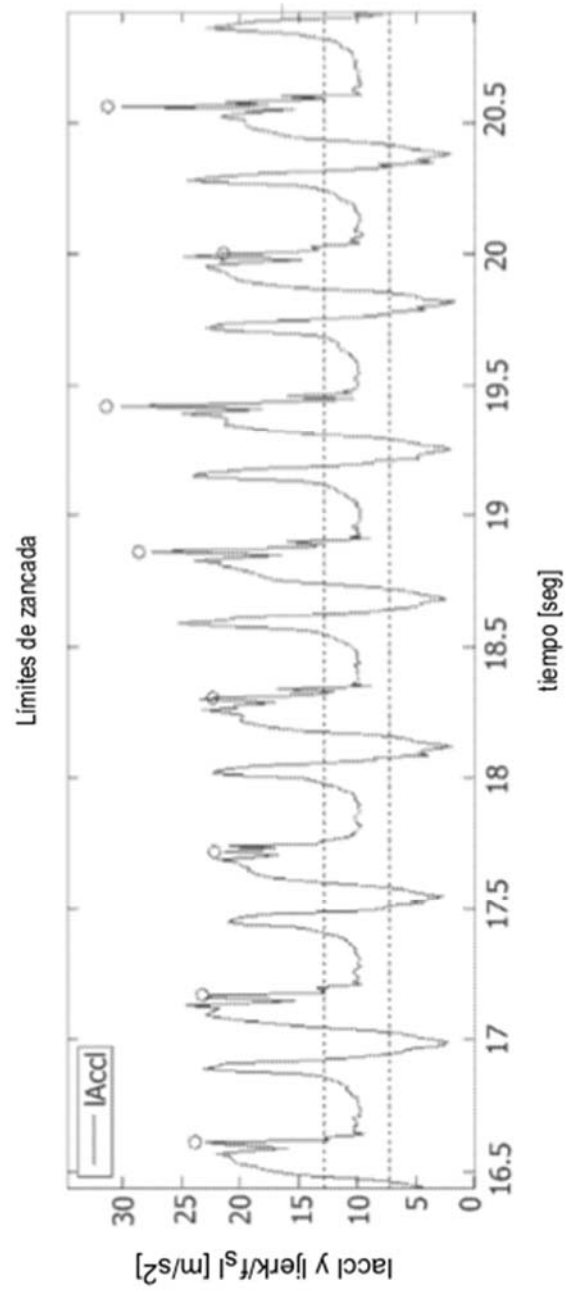


FIG. 5

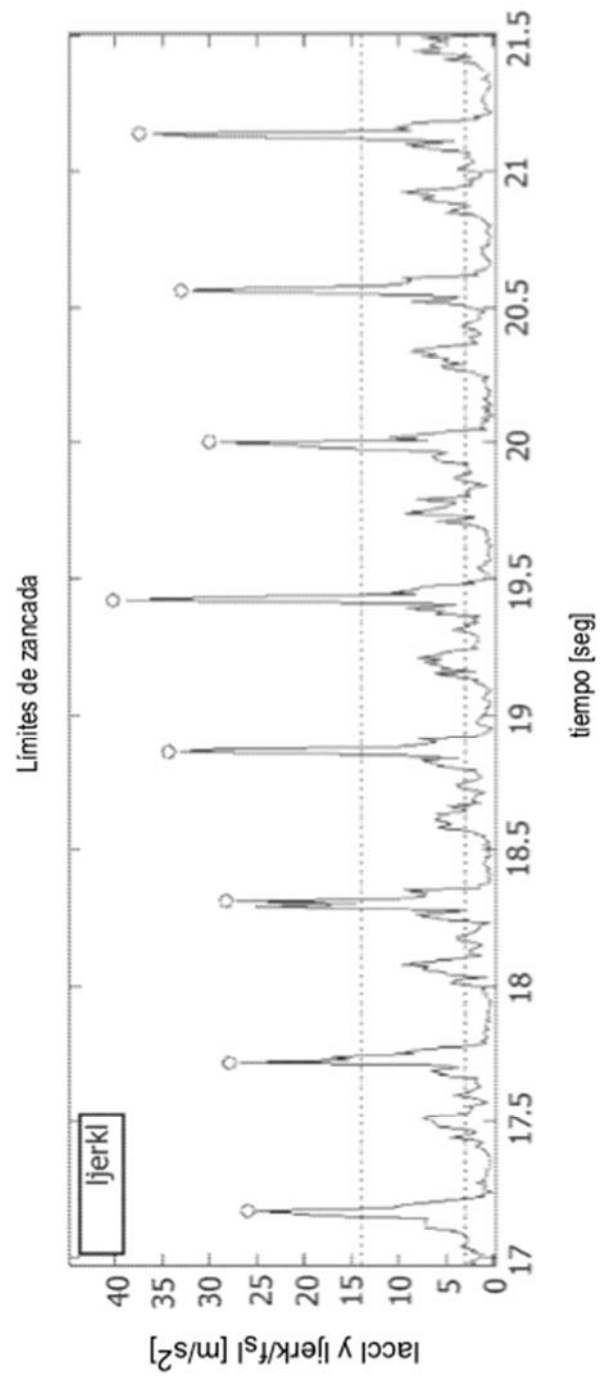


FIG. 6