

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 892 354**

51 Int. Cl.:

**A61B 5/103** (2006.01)

**A61B 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2014** **E 14382441 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.07.2021** **EP 3017761**

54 Título: **Método y sistema para la evaluación del equilibrio funcional**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.02.2022**

73 Titular/es:

**FUNDACIÓN TECNALIA RESEARCH &  
INNOVATION (100.0%)  
Parque Científico y Tecnológico de Gipuzkoa,  
Paseo de Mikeletegi Pasealekua, 2  
20009 Donostia-San Sebastián, Gipuzkoa, ES**

72 Inventor/es:

**BARRALON, PIERRE**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 892 354 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 sistema para la evaluación del equilibrio funcional

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere al campo de la cinemática y de las tecnologías de sensores no invasivas y más particularmente, a tecnologías de sensores para estimar, controlar y/o entrenar la posición relativa, movimiento y/o fuerzas resultantes de diferentes partes del cuerpo humano. Esta invención pertenece a los métodos y dispositivos para evaluar, entrenar y ayudar en la rehabilitación del equilibrio postural, incluyendo los que proporcionan retroalimentación de la información postural al sujeto.

Entre otros, la invención es aplicable a ciertos dispositivos de diagnóstico, tales como plataformas de fuerza, plataformas estabilométricas y/o baropodométricas o pasarelas sensorizadas; a ciertos dispositivos de entrenamiento, tales como plataformas de equilibrio dinámico; y a artículos deportivos, tales como tablas de surf, tablas de snowboard, etc.

**Estado de la técnica**

Se han desarrollado escalas de evaluación clínica en relación con el movimiento y el equilibrio y se utilizan diariamente en la actualidad por los médicos. Los criterios de evaluación son muy relevantes (clínicamente) pero, al mismo tiempo, son subjetivos y por consiguiente, dependientes del profesional. Por tanto, existe la necesidad de tener herramientas de evaluación cuantitativas.

Durante los últimos 30 años, se han sugerido herramientas instrumentales para evaluar cuantitativamente los parámetros de equilibrio postural. Se ha observado que medir directamente la estabilidad es imposible, debido a que la estabilidad no es una magnitud, sino una aptitud, que permite al cuerpo volver cerca de su posición de equilibrio siempre que se aleja de ella. No obstante, la estabilidad humana tiene características que pueden medirse. El enfoque más completo para describir y cuantificar la estabilidad humana es el enfoque de momento angular [Herr 2008]. Sin embargo, requiere las mediciones de las dinámicas del cuerpo completo (tanto de todas las cinemáticas de segmentos corporales como de las fuerzas externas) o de las propiedades de inercia conocidas de cinemática del cuerpo completo de todos los segmentos corporales. Tales procedimientos de consumo de equipos y tiempo se utilizan solo con fines de investigación. De hecho, la plataforma estabilométrica, que mide el centro de presión (CoP; del inglés, center of pressure), actualmente es el dispositivo más utilizado por los profesionales.

Aparte de estos dos enfoques que se corresponden con los dos extremos del espectro, en concreto, muchos dispositivos basados solo en mediciones del CoP y dispositivos basados en dinámicas de cuerpo completo, existen dispositivos intermedios que pueden proporcionar información suficientemente completa y todavía cumplen los requisitos profesionales (coste, tiempo de diagnóstico). Alineados con este enfoque, varios estudios han analizado la relación entre subconjuntos de datos (centro de presión (CoP) solo [Spaepen 1977, Winter 1995], centro de masas (CoM; del inglés, center of mass) solo [Hof 2005], CoP-CoM [Hahn 2004], CoM-colocación de los pies [Pai 1997, Slobounov 1977]) y su relación con escalas clínicas (levantarse y marchar cronometrado (en inglés, Timed Get-up-and-go), escala de equilibrio de Berg, escala de equilibrio de Tinetti, postura en una pierna (en inglés, One Leg Stance)). Las pruebas científicas sostienen el paradigma de que un análisis conjunto del centro de masas (CoM)-centro de presión (CoP) y/o centro de masas (CoM)-colocación de los pies, refleja la estabilidad funcional humana.

Se han realizado varias propuestas para evaluar o analizar el estado de equilibrio de una persona. Existen propuestas convencionales basadas en sensores que, unidos al cuerpo del usuario o integrados en un terminal móvil transportado por el/la usuario/a, proporcionan información acerca de su estabilidad.

Por ejemplo, la solicitud de patente de Estados Unidos US2011092860A1 desvela un sistema para la evaluación clínica de trastornos del movimiento que comprende una pluralidad de sensores portátiles que incluye acelerómetros, giroscopios, magnetómetros, sensores ópticos y goniómetros para registrar datos cinemáticos obtenidos de un paciente. A su vez, la solicitud de patente europea EP2578151A1 describe un dispositivo de terminal móvil para adquirir puntos de postura al caminar. Tiene un sensor de velocidad angular, un sensor de aceleración y una unidad de almacenamiento para almacenar un punto de referencia postural al caminar. La solicitud de patente internacional WO2004103176A1 desvela un sistema para diagnosticar el equilibrio basado en un sensor de movimiento portátil en un usuario. Además, la solicitud de patente europea EP1527734A1 desvela un aparato para el análisis de un estado de equilibrio basado en medios de detección de información de aceleración unidos al tronco del cuerpo humano, medios de almacenamiento de información de movimiento y medios de análisis del estado de equilibrio.

Otras propuestas bien conocidas comprenden dispositivos de captura de imágenes para ayudar a estimar el estado de equilibrio de la persona. Por ejemplo, la solicitud de patente internacional WO2007135462A1 desvela un sistema y un método para monitorizar equilibrio de una persona que comprende una unidad que lleva un sello (en inglés, indicium) y un dispositivo de captura de imágenes. Uno de los dos se une a la persona en su centro de equilibrio. El movimiento del sello se registra en referencia al centro de equilibrio del sujeto.

Por otra parte, hay sistemas para monitorizar los movimientos de una persona basados en los cambios de presión. Por ejemplo, la solicitud de patente de Estados Unidos US201117573A1 describe un método y un sistema para medir y analizar las señales de equilibrio corporal humano causadas por los cambios de presión. A partir de estas señales, el desvío del centro de gravedad del cuerpo humano se evalúa para obtener el desvío del CoP (centro de presión) y la velocidad del desvío del CoP. También la patente de Estados Unidos US8011229B2 desvela un método para determinar la estabilidad postural de una persona al adquirir una pluralidad de puntos de datos de presión a lo largo de un periodo de tiempo a partir de varios sensores de presión colocados, por ejemplo, en las suelas de los zapatos de la persona.

La solicitud de patente de Estados Unidos US2010/0035727A1 desvela un aparato para el análisis de la marcha utilizando una cinta de correr, que tiene un sistema de sensores para determinar una distribución de presiones/fuerzas sobre una placa de medición situada debajo de la cinta.

La solicitud de patente internacional WO2012/052697A1 desvela un método y un sistema para evaluar la calidad del equilibrio basada en una placa para recibir los pies de un sujeto e instalada sobre una pluralidad de sensores de presión.

La solicitud de patente de Estados Unidos US2013/0296740A1 desvela un método y un aparato para ayudar a los profesionales del calzado correctivo a determinar la necesidad del calzado correctivo basado en un escáner electrónico. El documento WO 99/053838 A1 desvela un sistema que comprende un módulo de referencia que envía una señal de referencia para registrar la posición y orientación de un dispositivo que lleva puesto una persona.

Estos métodos y sistemas bien conocidos normalmente miden el centro de presión (CoP) o la distribución de la presión plantar, que son mecanismos compensatorios (a nivel de los pies) para mantener la estabilidad postural. Sin embargo, son incapaces de identificar las causas de la inestabilidad. Además, no es posible establecer una relación entre un centro de presión y una posición corporal, teniendo en cuenta que la persona en observación tiende a moverse debido a sus problemas de estabilidad. Como consecuencia, existe la necesidad de tener mediciones instrumentales más próximas a los criterios funcionales.

Por tanto, pese a que existen las tecnologías que permiten medir cuantitativamente la estabilidad funcional, existe la necesidad de una tecnología integrada que pueda implementarse ampliamente entre médicos y/o profesionales del equilibrio.

### Descripción de la invención

En el presente documento se describen sistemas y métodos para evaluar la estabilidad postural humana basada en las mediciones y análisis de la evolución simultánea y relativa de al menos dos parámetros de cinemática y/o cinética humanos. Como será evidente a partir de la descripción de realizaciones ilustrativas, restos dos parámetros pueden ser la posición relativa de los pies (por ejemplo, base de apoyo, BoS; del inglés, base of support) y el centro de masas (CoM) humano total de una persona o la posición relativa del centro de masas humano (CoM) respecto al centro de presión (CoP) o la posición relativa de centro de masas (CoM) humano respecto tanto a la BoS como al CoP. Basándose en las mediciones simultáneas de esta información complementaria, se calculan o estiman diversas características para que se fusionen y proporcionen un valor de índice de estabilidad (SI; del inglés, stability index).

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de acuerdo con la reivindicación 1.

Preferentemente, el al menos un sensor conectado al cuerpo de la persona situado en la plataforma comprende una cámara y el al menos un módulo de referencia dispuesto en una localización fija respecto a la plataforma, es un patrón visual. Más preferentemente, el al menos un patrón visual es un patrón visual de infrarrojos y la al menos una cámara se configura para capturar imágenes en el intervalo de luz infrarroja.

Preferentemente, la plataforma es un sistema de distribución de presión plantar o una plataforma de fuerza).

En una realización preferida, el índice de estabilidad es una función de la posición y la orientación de al menos un sensor conectado al cuerpo de la persona situada en la plataforma y al menos una de las siguientes entradas, un centro de presión, una fuerza de reacción del suelo y una o más características derivadas de esas entradas.

En una realización preferida, el al menos un sensor conectado al cuerpo de la persona situada en la plataforma se adapta a conectarse al tronco de la persona.

En una realización particular, el al menos un sensor conectado al cuerpo de la persona situada en la plataforma comprende al menos un transductor de aceleración para medir la aceleración del sensor o al menos un transductor de velocidad angular para medir la velocidad angular del sensor.

El al menos un módulo de referencia puede colocarse en o fuera de la plataforma.

En una realización particular, la orientación de al menos un sensor conectado al cuerpo se acciona por al menos un servomotor.

5 Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un método de acuerdo con la reivindicación 10.

Preferentemente, la etapa de estimación de la posición y/u orientación del cuerpo de la persona se realiza como sigue:

- 10
- extrayendo un punto de interés a partir de al menos una imagen;
  - estimando la posición relativa del sensor con respecto al patrón visual y a la orientación del sensor;
  - estimando el centro de masas de la persona a partir de la posición relativa y la orientación del sensor.

15 En una realización particular, se mide la aceleración del sensor y/o la velocidad angular del sensor y/o la orientación magnética del sensor. En este caso, la etapa de estimación de la posición y/u orientación de al menos un sensor se refina como sigue:

- 20
- adquiriendo la aceleración y/o la velocidad angular y/o la orientación magnética del sensor;
  - estimando la traslación y la orientación relativas del sensor;
  - refinando la estimación de la posición y la orientación del sensor mediante la combinación de la estimación inicial con la información adicional disponible.

Otras ventajas y características de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y estarán particularmente señaladas en las reivindicaciones adicionales adjuntas.

## 25 **Breve descripción de los dibujos**

Para completar la descripción y con el fin de proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman parte integrante de la descripción e ilustran una realización de la invención, los cuales no deben interpretarse como limitaciones del alcance de la invención, sino como solo un ejemplo de cómo puede llevarse a cabo la invención. Los dibujos comprenden las siguientes figuras:

30

La Figura 1 muestra un sistema de acuerdo con una primera realización de la invención.

La Figura 2 representa una vista esquemática de un patrón de ocho elementos, incluyendo la función de reordenación.

35 La Figura 3 muestra un ejemplo de una cámara montada en una caja.

La Figura 4 muestra un sistema de acuerdo con una realización alternativa de la invención.

La Figura 5 muestra los módulos de bloques del sistema.

La Figura 6 muestra un diagrama de bloques que describe el proceso para estimar la posición y la orientación de un módulo portátil.

40 La Figura 7 muestra una ilustración del tipo de imagen registrada por la cámara. La altura del Pol blanco se corresponde con la altura de los LED infrarrojos del patrón visual.

La Figura 8 muestra un ejemplo no limitativo de las diversas coordenadas marco utilizadas en una realización de la invención.

Las Figuras 9A y 9B representan un ejemplo de los datos adquiridos para calcular una base de apoyo.

45 Las Figuras 10A y 10B representan un ejemplo de una imagen binarizada para calcular una base de apoyo.

Las Figuras 11A y 11B representan un ejemplo del cerco convexo obtenido a partir de la imagen binarizada de las Figuras 10A y 10B.

La Figura 12 muestra un ejemplo de la información utilizada para estimar el SI.

## 50 **Descripción de una manera de poner en práctica la invención**

Se describen sistemas y métodos para evaluar la estabilidad postural humana basada en las mediciones y el análisis de la evolución simultánea y relativa de al menos dos parámetros de cinemática y/o cinética humanos. El mismo aparato puede utilizarse para entrenar la estabilidad postural humana. Los al menos dos parámetros pueden ser la posición relativa de los pies (por ejemplo, base de apoyo) y el centro de masas humano (CoM) de una persona. Los al menos dos parámetros pueden ser también la posición relativa del centro de masas humano (CoM) con respecto al centro de presión (CoP). Los parámetros pueden ser también la posición relativa del centro de masas humano (CoM) respecto al centro de presión (CoP).

55

60 Basándose en las mediciones simultáneas de esta información complementaria, se calculan o estiman diversas características para que se fusionen y proporcionen un valor de índice de estabilidad (SI; del inglés, stability index).

La Figura 5 muestra los módulos de bloques del sistema y el método de acuerdo con diferentes realizaciones. A la izquierda, se muestran los bloques correspondientes a los componentes de hardware (sistema de distribución de la presión plantar (también llamada baropodométrica) 13 53 o como alternativa, las plataformas de fuerza/estabilométricas 13' o el equipo que combina las tecnologías tanto baropodométricas como estabilométricas,

65

módulo portátil 11, módulo de referencia 14 y opcionalmente un accionador del sensor 16 (por ejemplo, un servomotor). En el medio, los bloques corresponden a los componentes de software, a cargo del procesamiento de la información recibida a partir de los componentes de hardware, estimando por tanto un índice de estabilidad 67. También se incluyen bloques adicionales para la configuración del sistema 681 y/o el manejo de datos 682. A la derecha, un bloque que representa la interfaz gráfica del usuario 69 que permite al usuario interactuar con el sistema (por ejemplo, visualización de datos, evaluación, juegos de entrenamiento, etc.). Las diferentes realizaciones introducidas en la Figura 5 se explican más adelante.

La Figura 1 muestra un sistema 10 de acuerdo con una primera realización de la invención. El sistema permite llevar a cabo el método inventivo. La primera realización se refiere a un sistema para usarse para evaluar y entrenar gente durante tareas que tienen lugar en un espacio limitado donde caminar no es posible (denominado "sin nomadismo"). En esta realización, se permite al usuario hacer cualquier actividad o movimiento dentro de una plataforma o superficie específica, es decir, sin abandonar esa plataforma o superficie. Dicho de otro modo, el usuario puede hacer actividades de pie dinámicas, tales como doblarse, equilibrio sobre una pierna y agacharse, por ejemplo. En otra realización (denominada "seminómada"), la plataforma cubre una superficie mayor y es, por tanto, adecuada para un paseo corto.

El sistema 10 comprende tres partes principales: al menos un módulo de referencia 14, al menos un dispositivo portátil 11 y al menos una plataforma 13. Puede tener un ordenador remoto adicional, no ilustrado en la Figura 1. El ordenador puede ser un portátil y ejecutar la aplicación de software principal que permite llevar a cabo el método de la invención.

Se utiliza la al menos una señal de referencia proporcionada por un módulo de referencia 14. Cada módulo de referencia 14 se sitúa en una posición fija y conocida con una orientación determinada. La señal de referencia puede ser una o varias características físicas, tales como ondas electromagnéticas, (ultra)sonidos, luz, etc. En la implementación concreta de la Figura 1 solo se muestra un módulo de referencia 14.

En una realización preferida, el módulo de referencia 14 se sitúa fuera de la plataforma 13, por ejemplo, en el suelo o en una pared. En una realización alternativa, el sistema de referencia 14 se superpone o incrusta en la plataforma 13, como se ilustra en la Figura 1.

En una realización preferida la señal de referencia utiliza luz infrarroja. El módulo de referencia 14 que proporciona la señal de referencia comprende un patrón visual formado por una pluralidad de fuentes de infrarrojos. En una realización particular, se forma por una pluralidad de LED infrarrojos de alta intensidad montados en una superficie plana. En un ejemplo no limitante, hay ocho LED infrarrojos de alta intensidad (por ejemplo, elementos convencionales, por ejemplo VSMF4720) de dimensiones 2,8x3,5x1,75 mm. Los elementos o artículos del patrón 14 pueden separarse entre sí por una distancia que puede variar entre 2 y 20 cm. La energía se suministra a los elementos del patrón mediante una unidad de suministro de energía convencional, tal como un adaptador de pared o una batería. La Figura 2 representa una vista esquemática de un patrón de ocho elementos.

Como alternativa, el patrón visual 14 puede ser cualquier información visual (por ejemplo, foto, marcadores reflectantes o ambiente natural) capaces de servir como una referencia.

El módulo de referencia 14 (por ejemplo, patrón visual) sirve como una referencia en la determinación posterior de la posición de los dispositivos portátiles 11. Dado que las posiciones de este módulo de referencia 14 y de la plataforma 13 son conocidas y constantes, cualquier posición de características estimadas a partir de la plataforma (por ejemplo, base de apoyo 12, la fuerza de reacción del suelo y el centro de presión 17) es también conocida (véase  $^{escena}T_{placa}$  más adelante).

El al menos un dispositivo portátil 11 (también denominado sensor portátil 11) se refiere a su posición y orientación con respecto a la(s) plataforma(s) 13 por medio de las señales de referencia proporcionadas por el módulo de referencia 14. El objetivo último es relacionar la posición y la orientación del centro de masas humano con la información extraída de la plataforma (por ejemplo, base de apoyo y/o centro de presión). Por tanto, el número y localización de los dispositivos portátiles 11 deben tenerse en cuenta especialmente cuando se consideran las cuestiones tanto de utilidad del sistema como de exactitud de estimación del CoM. En general, cuanto más portátiles sean los sensores, más exacta será la estimación de la posición del CoM.

En una realización particular, mostrada en la Figura 1, existen dos dispositivos portátiles o sensores 11: uno unido al tronco del usuario y uno unido al brazo del usuario. En esta realización concreta, están fijados respectivamente a un cinturón y un brazaletes que lleva puestos el usuario.

Como ejemplo, en una realización que requiere una configuración del sensor mínima, podría utilizarse un dispositivo portátil individual. En este caso es preferible situarlo tan cerca como sea posible del centro de masas (CoM) de su portador: que quiere decir, unido al pecho o tronco del usuario. Puede unirse por medio de un cinturón o por medio de cualesquier medios de fijación o unión alternativos convencionales.

En una realización preferida, el al menos un dispositivo portátil 11 está hecho de una cámara (posiblemente de bajo coste) miniaturizada 11 que se monta en una caja 15 y se conecta a un panel procesador (no ilustrado) que, durante

- el uso, se configura para extraer características de imágenes con el fin de estimar la posición de la cámara basándose en técnicas tales como SLAM u homografía plana (algoritmo de transformación lineal directa (DLT; del inglés, Direct Linear Transform). La Figura 3 muestra un ejemplo de una cámara 111 (y su marco de referencia) montada en una caja 115 (en donde su marco de referencia también está perfilado). El dispositivo o sensor portátil 11 se acciona preferentemente por medios de accionamiento 16, tales como un servomotor, mostrados esquemáticamente en las Figuras 3 y 5. Por ejemplo, la orientación del sensor conectado al cuerpo se acciona por al menos un servomotor. El al menos un servomotor tiene preferentemente dos DoF (grados de libertad; del inglés, degrees of freedom). Los medios de accionamiento 16 se utilizan para garantizar que el sensor portátil se orienta hacia el sistema de referencia.
- 10 Como se ha presentado anteriormente, la realización preferida del módulo de referencia 14 utiliza un patrón de infrarrojos, por tanto, la cámara 11 embebida en el dispositivo portátil se configura preferentemente para capturar solo la luz infrarroja. Por estos motivos, la cámara 11 preferentemente comprende un filtro de luz que captura solo información de luz en cierto intervalo de longitudes de onda. Más preferentemente, el filtro de luz es un filtro de pase de banda de IR centrado en 850nm insertado en la montura de la cámara entre las lentes y el sensor de imágenes.
- 15 Teniendo un patrón visual de infrarrojos 14 y un filtro IR de pase de banda en la cámara, las imágenes registradas son casi imágenes binarias (puntos o manchas blancos sobre un fondo negro), simplificando por tanto la segmentación de imágenes y por tanto, reduciendo el tiempo de procesamiento posterior de imágenes.
- 20 Durante el uso, cuando el segmento corporal donde el sensor portátil 11 se une, está realizando una rotación importante, es posible que el (los) sensor(es) se orienten menos óptimamente hacia la señal de referencia (en la realización preferida significa que el patrón visual 14 se mueve hacia un borde de la imagen capturada por la cámara). Con el fin de no perder la recepción de la señal de referencia, se han implementado dos soluciones no excluyentes. En primer lugar, la selección de una lente óptica (de la cámara 11) que proporciona una buena conciliación entre el campo de visión (FOV; del inglés, field of view) y la exactitud de la estimación de postura. En segundo lugar, el uso de una inclinación ligera y un ajuste panorámico accionado por microservos. Cuando la señal de referencia (por ejemplo, el patrón visual) está cerca de salirse del campo de visión del receptor (por ejemplo, la cámara), los servomotores se accionan para orientar mejor el receptor hacia la señal de referencia.
- 25 En primer lugar, la selección de una lente óptica (de la cámara 11) que proporciona una buena conciliación entre el campo de visión (FOV; del inglés, field of view) y la exactitud de la estimación de postura. En segundo lugar, el uso de una inclinación ligera y un ajuste panorámico accionado por microservos. Cuando la señal de referencia (por ejemplo, el patrón visual) está cerca de salirse del campo de visión del receptor (por ejemplo, la cámara), los servomotores se accionan para orientar mejor el receptor hacia la señal de referencia.
- 30 Opcionalmente, puede embeberse una unidad de medición inercial (IMU; del inglés, inertial measurement unit) en el sensor portátil 11 con el fin de mejorar la estimación de postura del sensor en términos de exactitud, pero también de tasa de muestreo. La IMU está compuesta de acelerómetros y giroscopios 3D que miden tanto la aceleración lineal ( $m \cdot s^{-2}$ ) como la velocidad angular ( $rad \cdot s^{-1}$ ) con una tasa de muestreo de alrededor de 1000Hz. En comparación con los 30Hz de una cámara regular (bajo coste), la IMU proporciona mediciones y a continuación, la estimación de la posición y la orientación portátiles entre dos imágenes capturadas. En la práctica, los presentes inventores utilizan un filtro Kalman extendido (EKF; del inglés, extended Kalman filter) para fusionar la visión y la medición inercial [Hol 2011]. El EKF maneja las diferentes tasas de muestreo. Se ejecuta en la tasa de datos alta de la IMU y las actualizaciones de visión solo se realizan cuando está disponible una nueva imagen. La IMU proporciona predicciones a corto plazo muy precisas de la posición del sensor, si bien la estimación basada en la visión proporciona una estimación de posición absoluta (permitiendo la anulación del desvío de la IMU).
- 35 El al menos un sensor portátil 11 preferentemente incorpora un panel de procesamiento de bajo coste, baja potencia y de pequeño tamaño, que adquiere y envía imágenes o características a un ordenador (no ilustrado), preferentemente de forma inalámbrica.
- 40 La al menos una plataforma 13 comprende una pluralidad de sensores (no ilustrados en la Figura 1) para medir las fuerzas/presiones bajo los pies del usuario.
- 45 En la realización mostrada en la Figura 1, hay una plataforma 13. Es preferible un sistema de distribución de presión plantar (también denominado sistema PPD (del inglés, plantar pressure distribution) y también denominado dispositivo baropodométrico). En una realización preferida, comprende una matriz de  $M \times M$  sensores (al menos un total de 3 sensores) distribuidos en una cierta área (dentro de las dimensiones de la plataforma 13). Cada uno de estos sensores mide la fuerza o el momento aplicado sobre sí. En una realización particular, en la que se utiliza un sistema PPD convencional, el sistema PPD 13 comprende 1024 sensores de fuerza de película delgada (32x32) para una dimensión total de 50x50 cm. Estos dispositivos miden la distribución de la presión sobre la superficie plantar completa (tipo de matriz).
- 50 En una realización alternativa, no mostrada en las figuras, en lugar de utilizar un sistema de distribución de presión plantar, que permite calcular una base de apoyo 12, se utiliza una placa de fuerza (o plataforma estabilométrica) y permite estimar el centro de presión (CoP) y/o la fuerza de reacción del suelo (GRF; del inglés, ground reaction force). Combinando CoP (y/o GRF) y el centro de masas (CoM), puede obtenerse un índice de estabilidad. Dicho de otro modo, la placa de fuerza o sistema estabilométrico proporciona una vía alternativa de estimación de la estabilidad postural de un usuario.
- 55 Como comentario, existen sistemas que combinan las mediciones tanto baropodométricas como estabilométricas. Existen también plataformas sensorizadas como se ha descrito anteriormente que no son inmóviles, sino que se
- 60
- 65

pueden mover (por ejemplo, cambio de orientación).

La Figura 4 muestra un sistema 50 de acuerdo con una segunda realización de la invención. Este sistema permite también llevar a cabo el método inventivo. Esta segunda realización se refiere a un sistema para utilizarse con una persona que se mueve (también denominada "seminómada"), es decir, las mediciones se toman al tiempo que la persona en examen camina a lo largo de una pasarela sensorizada (hacia delante o hacia atrás) o una cinta de correr o un dispositivo similar. El dispositivo comprende una plataforma individual 53 que es suficientemente larga como para permitir a una persona caminar sobre ella o comprende una pluralidad de plataformas 53 preferentemente dispuestas en una fila. Este sistema difiere del descrito en la realización que se refiere a la Figura 1 en la que, si bien en la Figura 1 el sistema 10 podría trabajar con un módulo de referencia 14, el sistema 50 necesita al menos dos módulos de referencia 54 (tales como patrones visuales) para cubrir los paseos de "ida" y de "vuelta". El sistema 50 también comprende algunos componentes de hardware, que se describen a continuación, para capturar entradas sensoriales que se procesan. Al igual que en la primera realización, a partir de las señales procesadas es posible estimar un índice de estabilidad. Esta segunda realización representa un enfoque que puede considerarse como una extensión natural de la primera (enfoque "sin nomadismo"). Es una funcionalidad nueva interesante, dado que los mecanismos y las habilidades de control postural al caminar son diferentes de los derivados de las posibilidades limitadas de la primera realización. Al igual que en la primera realización, la plataforma o plataformas 53 pueden ser sistemas de distribución de la presión (sistemas PPD), dispositivos baropodométricos o plataformas de fuerza.

El sistema 50 también comprende al menos un dispositivo portátil 51 (dispositivo sensor) unido al cuerpo del usuario, tal como una cámara, que es similar a la cámara 11 de la realización anterior y también se coloca preferentemente en una caja y se une al pecho del usuario. Los al menos dos módulos de referencia 54 están situados dentro del campo de visión del dispositivo del sensor 51. Como en el sistema de la Figura 1, los módulos de referencia 54 son preferentemente patrones visuales de infrarrojos. Hay tantos patrones visuales como sean necesarios para cumplir el requisito de que siempre un patrón visual esté dentro del campo de visión del dispositivo portátil 51. En una posible realización, un primer patrón visual 54 se sitúa en un primer extremo de la pasarela sensorizada que comprende la plataforma o plataformas 53 y un segundo patrón visual 55 se sitúa en un segundo extremo (opuesto al primer extremo) de la pasarela. Esto permite tomar mediciones al tiempo que la persona camina de ida y vuelta. Como alternativa, el sistema 50 puede tener uno o más patrones visuales situados a lo largo de uno o ambos laterales de la pasarela.

La Figura 4 muestra también el ordenador 56 que procesa las características de imágenes proporcionadas por el panel procesador asociado al dispositivo portátil 51. El sistema 50 también comprende preferentemente una interfaz gráfica del usuario (GUI; del inglés, graphical user interface) no mostrada en la Figura 4, que permite la configuración del sistema, la visualización de datos y los juegos de entrenamiento. Es similar a una descrita en relación con el sistema 10 de la Figura 1.

A continuación, se describen métodos para evaluar y entrenar la estabilidad postural de un cuerpo humano basados en información complementaria (tal como CoM, CoP, BoS) proporcionada por al menos dos sistemas de medición que pueden relacionar sus posiciones a través de una señal de referencia.

Como una descripción genérica basada en el esquema de la Figura 5, se deriva un índice de estabilidad 67 a partir de la posición relativa y la orientación del CoM y a partir de BoS o CoP:

- 1- La posición y la orientación del CoM se estima 63 a partir de la posición y orientación de los sensores portátiles
- 62. La posición y la orientación del sensor portátil se estiman 61 con respecto al módulo de referencia 14.
- 2- Se estima la BoS a partir del sistema de distribución plantar 13 cuando está disponible.
- 3- Se estima el CoP a partir de la plataforma 13 cuando está disponible.

Se obtiene un índice de estabilidad (SI) 67 al combinar la posición y la orientación del (de los) sensor(es) portátil(es) 11 111 1011 con el centro de presión (CoP) y/o la base de apoyo (BoS) y/o características derivadas de ellos. El SI puede expresarse de la siguiente manera:  
 $SI = f(\text{posición y orientación del (de los) sensor(es) portátil(es), BoS, CoP, GRF, características derivadas})$

La función  $f$  permite (a) combinar la información utilizando técnicas diferentes, (b) dar importancia diferente (peso) a los diversas entradas, (c) normalizar de acuerdo con las características del usuario/paciente. En particular, puede asignarse a una o más de dichas diversas entradas un peso igual a cero, que significa que dichas una o más entradas no se incluyen en el cálculo del SI. Sin embargo, la información derivada a partir de la posición y la orientación del (de los) sensor(es) portátil(es) 11 111 1011 siempre se tiene en cuenta.

El centro de presión (CoP) es el punto en un cuerpo donde la suma total de un campo de presiones actúa, causando una fuerza y sin momento alrededor de ese punto. El vector de fuerza total que actúa en el centro de presión es el valor del campo de presión vectorial integrado. La localización de la fuerza de reacción del suelo (GRF) y del centro de presión producen una fuerza y momento equivalentes sobre el cuerpo al campo de presiones original. En la evaluación del control postural, se mide el CoP normalmente con una plataforma de fuerza (superficie plana equipada con al menos tres transductores de fuerza y momento). La información del CoP relevante es una posición 2D (x, y), si bien su componente vertical (z) permanece constante.

La base de apoyo (BoS) se define como el intervalo posible del centro de presión (CoP) que puede cubrir con el fin de compensar o controlar movimientos del CoM. En principio, la BoS es un área delimitada por un perímetro definido por la posición de unas partes del cuerpo de una persona (por ejemplo, pies) que están en contacto con una superficie de soporte. Dicho de otro modo, la BoS representa todos los puntos (x, y) dentro de dicho perímetro.

El centro de masas (CoM) humano puede estimarse a partir de la posición y orientación del (de los) sensor(es) portátil(es). El CoM es el único punto donde la posición relativa ponderada de la masa distribuida suma cero. Dicho de otro modo, es el punto en un cuerpo extendido en el que la masa del cuerpo puede considerarse que se concentra y en el que puede considerarse que se aplican las fuerzas externas. El CoM se representa por un punto 3D (x, y, z).

El método de cálculo del índice de estabilidad se describe utilizando una realización preferida donde el módulo portátil está hecho de una cámara que filtra la luz visible y el patrón visual está hecho de pequeños LED que emiten infrarrojos. En una realización, se utiliza una plataforma que proporciona una distribución de la presión plantar. En otra realización, se utiliza una placa de fuerza.

Se ha demostrado en publicaciones la utilidad tanto del CoM como de la colocación de los pies para evaluar la estabilidad postural humana [Pai 1997]. Los inventores describen cómo (i) se miden el CoM y la colocación de los pies (o BoS), (ii) cómo estas dos posiciones están relacionadas y (iii) cómo se combinan en un índice de estabilidad, utilizado posteriormente con fines de evaluación o entrenamiento.

Como ejemplo ilustrativo, en una realización que requiere una configuración del sensor mínima, se utiliza un dispositivo portátil individual y unido al pecho. Se describe un método, que permite la estimación de la posición y orientación del sensor portátil. A continuación, esto se utiliza para estimar la posición del CoM donde, en una posible realización como un primer enfoque, se aplica una serie de transformaciones espaciales homogéneas. Para ese fin, se define un conjunto de sistemas de coordenadas, así como de transformaciones de coordenadas homogéneas entre estos sistemas coordinados. Se representa una matriz de transformación de coordenadas homogénea como la letra T en negrita.

El sistema de coordenadas a partir del que se aplica la transformación se representa por un subíndice en minúsculas que aparece tras el símbolo de la matriz. El sistema de coordenadas resultante se denomina mediante un superíndice en minúsculas que precede al símbolo. Los vectores se ilustrarán con letra mayúscula precedida por un superíndice en minúsculas que representa el sistema de coordenadas en el que se expresan. Por ejemplo, (<sup>escena</sup>COM) es el vector del centro de masas (x,y,z) expresado en las coordenadas de la escena.

Los diversos marcos de referencia se ilustran en la Figura 8. Las transformaciones correspondiente son las siguientes:

- <sup>escena</sup>T<sub>cám.</sub>: de la cámara (1011) al marco de referencia de la escena (1014)
- <sup>cám</sup>T<sub>caja</sub>: del punto de interés de la caja (1015) a la cámara (1011)
- <sup>caja</sup>T<sub>sac</sub>: del sacro humano (116) al punto de interés de la caja (1015)
- <sup>sac</sup>T<sub>com</sub>: del CoM humano (163) al sacro humano (116)
- <sup>escena</sup>T<sub>plat</sub>: de la plataforma (1013) al marco de referencia de la escena (1014)

El objetivo final es estimar la posición y la orientación del CoM expresado en el marco de referencia de la escena 1014 (<sup>escena</sup>COM). Puede expresarse de la siguiente manera:

**Ecuación 1**

$$\sup{escena}COM = (\sup{escena}T_{cám} \cdot \sup{cám}T_{caja} \cdot \sup{caja}T_{sac} \cdot \sup{sac}T_{com}) \cdot \sup{com}COM$$

A partir de la ecuación anterior se conocen muchas matrices de transformación:  
<sup>cám</sup>T<sub>caja</sub>: Conocida, pero puede variar a lo largo del tiempo. Basándose en el diseño mecánico del sensor portátil 1011 y la orientación conocida de los servomotores como se muestra en la Figura 9A, que muestra la transformación rígida aplicada que relaciona la posición y la orientación del origen de la cámara 1011 con respecto a un punto de interés de la caja 1015.

<sup>caja</sup>T<sub>sac</sub>: Conocida y fija. Se colocan sensores portátiles 1011 en una localización conocida con respecto al sacro 116 del sujeto.

<sup>sac</sup>T<sub>com</sub>: Modelo aprendido a partir de los conjuntos de datos del análisis de movimiento.

<sup>escena</sup>T<sub>plat</sub>: Posición conocida y fija de la plataforma 1013 con respecto al módulo de referencia 1014. Si fuera necesario, podría colocarse un sensor portátil (14) en la plataforma con el fin de medir su posición respecto al módulo de referencia.

A continuación, solo se desconoce <sup>escena</sup>T<sub>cám</sub> y tiene que estimarse en cada momento.

La estimación de la posición y la orientación de la cámara 1011 en las coordenadas de la escena ( ${}^{escena}T_{cám}$ ) requiere un modelo del proceso de formación de imágenes. Tal modelo se expresa como una composición de los parámetros intrínsecos ( $\mathbf{K}$ ), extrínsecos de cámara ( ${}^{escena}T_{cám}$ ) y la matriz de proyección  $\mathbf{P}_0$  de la cámara que conduce a la

5

**Ecuación 2**

$${}^{cám}POI = \mathbf{K} \cdot \mathbf{P}_0 \cdot {}^{cám}T_{escena} \cdot {}^{escena}POI$$

$$P_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{f} & 0 \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} k_x & -k_x \cos \theta & Cx \\ 0 & k_y \sin \theta & Cy \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

donde,  ${}^{escena}POI \in \mathbb{R}^3$ , son puntos de interés (POI; del inglés, points of interest) expresados en el marco de referencia de la escena (por ejemplo, el patrón visual (14, 1014) y,  ${}^{cám}POI \in \mathbb{R}^2$ , el mismo punto pero en la imagen de la cámara.  $k_x$  y  $k_y$  son dimensiones de píxeles.  $C_x$  y  $C_y$  son las coordenadas del centro óptico de la imagen y  $\theta$  el ángulo de píxel (generalmente

10

$$\frac{\pi}{2}$$

).

15

Con el fin de estimar  ${}^{cám}T_{escena}$  a partir de la Ecuación 2, la estrategia es tener un patrón conocido (compuesto de punto o cualesquiera características 3D, conocido en término de dimensión, localización...) y aplicar un proceso para extraer a partir de la imagen la proyección de este patrón. El ejemplo que proporcionan los inventores a continuación es una ilustración de cómo puede hacerse: el vector  ${}^{escena}POI$  es conocido y se corresponde con el patrón descrito en la Figura 2. El vector  ${}^{cám}POI$  se estima a partir de la imagen proporcionada por la cámara que apunta hacia el patrón de referencia (véase la Figura 9A). Entre otras posibilidades, puede lograrse aplicando el siguiente proceso (perfilado en la Figura 6).

20

Como se perfila en la Figura 6, a partir de las imágenes proporcionadas por la cámara 11 1011 en una tasa predefinida (por ejemplo, 30 fotos por segundo o más) se aplica un primer preprocesado 161, transformando la imagen de entrada (a menudo compuesta de tres canales cuando se consideran imágenes a color o de 1 canal cuando se consideran imágenes en escala de grises) en una sola (por ejemplo, manteniendo un canal o combinando varios). Esto se hace preferentemente con el fin de disminuir el tiempo de procesamiento, al tiempo que se conserva la mayoría de la información. Se aplica adicional y preferentemente un proceso de umbralización para la binarización de las imágenes. Debe considerarse un compromiso: si el umbral aplicado es muy bajo, puede introducirse demasiado ruido en la imagen. Por otra parte, si es muy alto, puede causar pérdidas de información.

25

30

La imagen binaria extraída debe contener solo puntos (Pol) correspondientes a la altura de los LED infrarrojos del patrón visual (Figura 7).

35

Podría ocurrir que estuvieran presentes todavía elementos adicionales en la imagen. Por tanto, es preferible detectar 162 la región de interés (Rol; del inglés, region of interest), que es el área donde se espera una concentración de puntos. Primero, se aplica una operación de cierre a la imagen completa con un número de etapas adecuado para asegurar que los diferentes puntos de imagen se fusionan. Entre varias Rol potenciales, la Rol seleccionada es la que coincide con la restricción relacionada con su tamaño y forma y coherencia temporal (que quiere decir, que las regiones de interés en el marco temporal  $t$  y  $t+1$  están espacialmente próximas).

40

Una vez que se selecciona la Rol, a continuación es posible detectar 163 la localización, en la imagen, del punto de interés (Pol).

45

Cuando los Pol se localizan 163, se reordenan 164 (véase por ejemplo, la Figura 2).

Una vez los Pol se han reordenado 164, la posición de la cámara ( ${}^{escena}T_{cám}$ ) se estima 165 utilizando un proceso de minimización (estimación de parámetros extrínsecos). En este proceso, el vector  ${}^{escena}POI$  se re proyecta en el marco

de referencia de la cámara ( ${}_{reproyectada}^{Cám}POI$ ) y el error de reproyección de píxeles ( ${}_{reproyectada}^{Cám}POI - {}_{adquirida}^{Cám}POI$ ) se minimiza en el sentido de mínimos cuadrados sobre los parámetros de cámara intrínsecos y extrínsecos. A continuación, cada vez que se estima  ${}^{escena}T_{cám}$  se computa una nueva posición del CoM de acuerdo con la Ecuación 1. En paralelo con la estimación 165 de la posición y la orientación de la cámara, las mediciones complementarias 166 pueden realizarse dentro del dispositivo portátil con el fin de estimar su movimiento relativo 167 (es decir, traslación y rotación progresiva) y por tanto, refinar la estimación 165 de la posición y la orientación de la cámara fusionando ambas fuentes de información 168.

En una posible realización, se toman adicionalmente las siguientes mediciones: la aceleración del sensor y/o la velocidad angular del sensor y/o la orientación magnética del sensor. Si se toman estas mediciones adicionales, la estimación de la posición relativa del sensor 11 111 1011 puede refinarse 168 como sigue: En primer lugar, se adquiere 166 la aceleración y/o la velocidad angular y/o la orientación magnética del sensor; a continuación, se estima 167 la traslación y la orientación relativas del sensor; finalmente, la estimación de la posición y la orientación del sensor se refina 168 mediante la combinación de la estimación inicial 165 con la información adicional disponible.

El resultado del proceso de minimización (estimación de parámetros extrínsecos) 165 (168 si está disponible) es  ${}^{escena}T_{cám}$ . A partir de  ${}^{escena}T_{cám}$ , a continuación, se computa  ${}^{escena}COM$  utilizando la Ecuación 1. Una innovación de esta divulgación es relacionar la posición del CoM humano ( ${}^{escena}COM$ ) u otras partes del cuerpo con información relacionada con los pies (por ejemplo, BoS, CoP).

Para ese fin y como se representa en el diagrama de bloques de la Figura 5, si se utiliza un sistema de distribución de presión plantar o un sistema baropodométrico 13 53, puede calcularse una base de soporte BoS (bloques 64, 65). Las plataformas convencionales proporcionan, a través de un software API (por ejemplo, un archivo dll), acceso en tiempo real a los datos. En este caso, es una matriz ( $\in \mathbb{R}^2$ ) en la que cada celda contiene el valor de fuerza vertical/presión de los sensores correspondientes. Cuanto mayor es el valor, mayor es la fuerza que se aplica sobre el sensor.

Las Figuras 9A y 9B representan un ejemplo de los datos adquiridos para un pie y para dos pies respectivamente. En una implementación particular, la información se almacena en una matriz de 32x32.

A continuación, se describe la extracción de la BoS (etapa 65): Una vez adquirida esta matriz de datos de presión, se aplica una función de binarización con un cierto umbral. El valor umbral se define con el fin de descartar ruido del sensor (la presión por debajo del umbral se reasigna a cero) y asignar un valor de uno cuando se aplica una presión real. Las Figuras 10A y 10B representan un ejemplo de la imagen binarizada para un pie y para dos pies respectivamente.

Una vez que la imagen es binaria, se ejecuta una función para calcular el cerco convexo de los puntos. Un cerco convexo de un conjunto X de puntos en el plano euclídeo es el conjunto más pequeño que contiene X. La BoS se obtiene a partir de los puntos ( ${}^{plat}BOS$ ) que describen el cerco convexo (etapa 65). Las Figuras 11A y 11B representan un ejemplo del cerco convexo obtenido a partir de la imagen binarizada. Conociendo la dimensión física de la celda del sensor, los puntos de posición de la BoS ( ${}^{plat}BOS$ ) se convierten en una dimensión métrica (por ejemplo, metros) y se expresan en el marco de referencia de la plataforma. Por último, la secuencia de puntos se expresa en el marco de referencia de la escena aplicando la siguiente transformación:

$${}^{escena}BOS = {}^{escena}T_{placa} \cdot {}^{placa}BOS$$

Nótese que a partir de la matriz de distribución de la presión plantar es posible extraer un denominado centro de fuerza (CoF; del inglés, centre of force), definido como la coordenada baricéntrica que considera que cada sensor  $i$  tiene una posición espacial  $(x_i, y_i)$  y un valor de presión  $P_i$ :

$${}^{plat}COF = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n x_i * \frac{P_i}{P_{tot}} \\ \sum_{i=1}^n y_i * \frac{P_i}{P_{tot}} \end{pmatrix}$$

Con  $P_{tot} = \sum_{i=1}^n P_i$

De manera similar,  ${}^{escena}COF = {}^{escena}T_{plat} \cdot {}^{plat}COF$

Si, como alternativa, se utiliza una placa de fuerza o un sistema estabilométrico 13', el sistema suministra mediciones

de 6 DoF: fuerzas de reacción del suelo 3D  ${}^{plat}GRF = \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix}$  y momentos 3D  ${}^{plat}M = \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix}$ . A partir de estas mediciones

el centro de presión (CoP) puede calcularse (64'):  ${}^{plat}COP = \begin{pmatrix} -\frac{M_y}{F_z} \\ \frac{M_x}{F_z} \\ 0 \end{pmatrix}$  y transformarse en el marco de referencia de la

escena:

$${}^{escena}COP = {}^{escena}T_{plat} \cdot {}^{plat}COP$$

$${}^{escena}GRF = {}^{escena}T_{plat} \cdot {}^{plat}GRF$$

En la etapa 66 en la Figura 5, todas las mediciones se expresan en el marco de referencia de la escena: *escena*COM; *escena*BOS; *escena*COF; *escena*COP; *escena*GRF. Por tanto, es posible analizar 66 las posiciones relativas y la evolución de estos descriptores de estabilidad postural humana y crear un índice de estabilidad 67. Es importante recalcar de nuevo, que dependiendo de la plataforma utilizada puede tenerse acceso a *escena*BOS solo o a *escena* COP solo o a ambos. Es por eso que SI se expresa de la siguiente manera:

SI = f (posición y orientación del (de los) sensor(es) portátil(es), BoS, CoP, GRF, características derivadas) Donde la función f permite (a) combinar la información utilizando técnicas diferentes, (b) dar importancia diferente (peso) a los diversas entradas, (c) normalizar de acuerdo con las características del usuario/paciente. En particular, puede asignarse a una o más de dichas diversas entradas un peso igual a cero, que significa que dichas una o más entradas no se incluyen en el cálculo del SI. Sin embargo, la información derivada a partir de la posición y la orientación del (de los) sensor(es) portátil(es) 11 111 1011 siempre se tiene en cuenta.

Como ejemplo, si el CoP no está disponible, la función f asignará un cero al peso asociado con el CoP (por ejemplo,  $w_{CoP}$ ).

La Figura 12 muestra un ejemplo de la información utilizada para estimar el SI. En este caso, se utilizan el centro de masas (CoM), la proyección vertical del centro de masas (CoMv) y la base de apoyo (BoS).

Por último, el software y la interfaz gráfica del usuario mencionados en la presente divulgación se utilizan para (1) visualizar instantáneamente las mediciones realizadas (por ejemplo, posición(ones) del (de los) sensor(es) portátil(es), BoS, CoP, CoM, SI), (2) almacenar/recuperar un registro anterior, (3) guiar al usuario (paciente o profesional) para ejecutar un procedimiento de evaluación, (4) involucrar al usuario en un procedimiento de entrenamiento (por ejemplo, establecer la colocación de los pies y a continuación, pedir al usuario seguir una trayectoria con su centro de masas, entrenar la distancia CoM-CoP).

El índice de estabilidad tiene muchas aplicaciones. Por ejemplo, un doctor o un médico pueden evaluar a partir del mismo la evolución del paciente o su falta de estabilidad. Para este fin, pueden realizarse pruebas convencionales, tales como la prueba de Romberg, prueba de alcance funcional (FRT; del inglés, functional reach test), escala de equilibrio de Berg de formato corto (SF-BBS; del inglés, short form Berg balance scale), prueba de postura en una pierna, "Parte de equilibrio" de la evaluación de movilidad orientada al rendimiento de Tinetti (POMA; del inglés, performance oriented mobility assessment), prueba de empuje, prueba de estrés postural (PST; del inglés, postural stress test), al tiempo que se utilizan el sistema y el método de la presente divulgación.

Durante la ejecución de la prueba, el médico observa en la interfaz gráfica del usuario la evolución en tiempo real de los parámetros relevantes (por ejemplo, CoM, BoS, CoP o características derivadas) y/o el índice de estabilidad en sí. Después de la finalización de la prueba, se genera un informe con gráficos, tablas de valores, etc.

Además, pueden prescribirse también sesiones específicas y de nuevos entrenamientos utilizando la posibilidad de medir conjuntamente y la información de retroalimentación acerca tanto del CoM como de la colocación de los pies. Como ejemplo, la aplicación de software pedirá al usuario la posición de sus pies en una localización específica en la plataforma. El usuario observa en la GUI la colocación de los pies dirigida y trata de coincidir con estas posiciones. Se proporciona una retroalimentación visual en tiempo real de las posiciones de los pies actuales. Cuando las posiciones de los pies coinciden con las dianas (normal, semitándem, tándem, otras), se indica al usuario que no mueva sus pies y que mueva su CoM con el fin de seguir un recorrido en espiral. Se registra el tiempo de ejecución, así como una puntuación que se basa en el número de veces que el CoM se sale del recorrido, por ejemplo.

Con el sistema y el método descritos para evaluar la estabilidad postural humana basada en las mediciones y análisis de la evolución simultánea y relativa de al menos dos parámetros de cinemática y/o cinética humanas, puede obtenerse un índice de estabilidad a partir de un parámetro referido al centro de masas (CoM) de una persona y al menos un parámetro referido a la posición relativa de los pies (por ejemplo, base de apoyo) o al centro de presión (CoP) de la persona.

Por favor, téngase en cuenta que en este documento, el término "comprende" y sus derivaciones (tales como "que comprende/comprendiendo", etc.) no deben interpretarse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir otros elementos, etapas, etc.

5 Por otra parte, la invención, obviamente, no está limitada a la(s) realización(ones) específica(s) descrita(s) en el presente documento, sino que también abarca cualquier variación que pueda ser considerada por cualquier persona experta en la técnica (por ejemplo, en cuanto a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones.

10

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema que comprende:

- 5 - al menos una plataforma (13, 53, 13') configurada para, durante el uso, que tenga una persona sobre ella, comprendiendo dicha plataforma (13, 53, 13') una pluralidad de sensores configurados para capturar información de fuerzas/presiones aplicadas por los pies de la persona o de la posición de los pies de la persona;
- medios para, a partir de dicha información capturada, extraer respectivamente (65, 65') un centro de presión o la posición de los pies;
- 10 - al menos un módulo de referencia (14) dispuesto en una localización fija con respecto a dicha plataforma (13, 53, 13');
- al menos un sensor (11 111 1011) que, durante el uso, está conectado al cuerpo de la persona situado sobre dicha plataforma (13, 53, 13'), estando el sensor configurado para capturar al menos una señal de referencia proporcionada por dicho al menos un módulo de referencia (14);

15 comprendiendo además el sistema (10, 20):

- procesar medios para extraer información de dicha al menos una señal de referencia capturada y para estimar (63) a partir de dicha señal de referencia la posición y la orientación de dicho al menos un sensor con respecto a
- 20 al menos un módulo de referencia;
- procesar medios para estimar la posición y la orientación del cuerpo de dicha persona a partir de dichas posición y orientación determinadas de al menos un sensor, obtenidas a su vez a partir de al menos una señal de referencia;
- procesar medios para calcular un índice de estabilidad (67) a partir de dicha posición y orientación del cuerpo de dicha persona y a partir de dicha posición de los pies o del centro de presión extraídos.

25 2. El sistema de la reivindicación 1, en donde dicho al menos un sensor conectado al cuerpo de la persona situado en dicha plataforma (13, 53, 13') comprende una cámara (11) y dicha al menos una señal de referencia proporcionada por dicho al menos un módulo de referencia dispuesto en una localización fija respecto a dicha plataforma (13, 53, 13'), es un patrón visual (14, 54).

30 3. El sistema de la reivindicación 2, en donde dicho al menos un patrón visual (14) es un patrón visual de infrarrojos y dicha al menos una cámara (11) está configurada para capturar imágenes en el intervalo de luz infrarroja.

35 4. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde dicha plataforma es un sistema de distribución de presión plantar (13, 53) o una plataforma de fuerza (13').

40 5. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde dicho índice de estabilidad (67) es una función de la posición y la orientación de dicho al menos un sensor conectado al cuerpo de la persona situado en dicha plataforma (13, 53, 13') y al menos una de las siguientes entradas: una base de soporte (BoS), un centro de presión (CoP), una fuerza de reacción del suelo (GRF) y una o más características derivadas de dichas entradas.

6. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde dicho al menos un sensor conectado al cuerpo de la persona situado en dicha plataforma (13, 53, 13') está adaptado para conectarse al tronco de la persona.

45 7. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde dicho al menos un sensor conectado al cuerpo de la persona situado en dicha plataforma (13, 53, 13') comprende al menos un transductor de aceleración para medir la aceleración del sensor o al menos un transductor de velocidad angular para medir la velocidad angular del sensor.

50 8. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde dicho al menos un módulo de referencia está colocado en o fuera de dicha plataforma (13, 53).

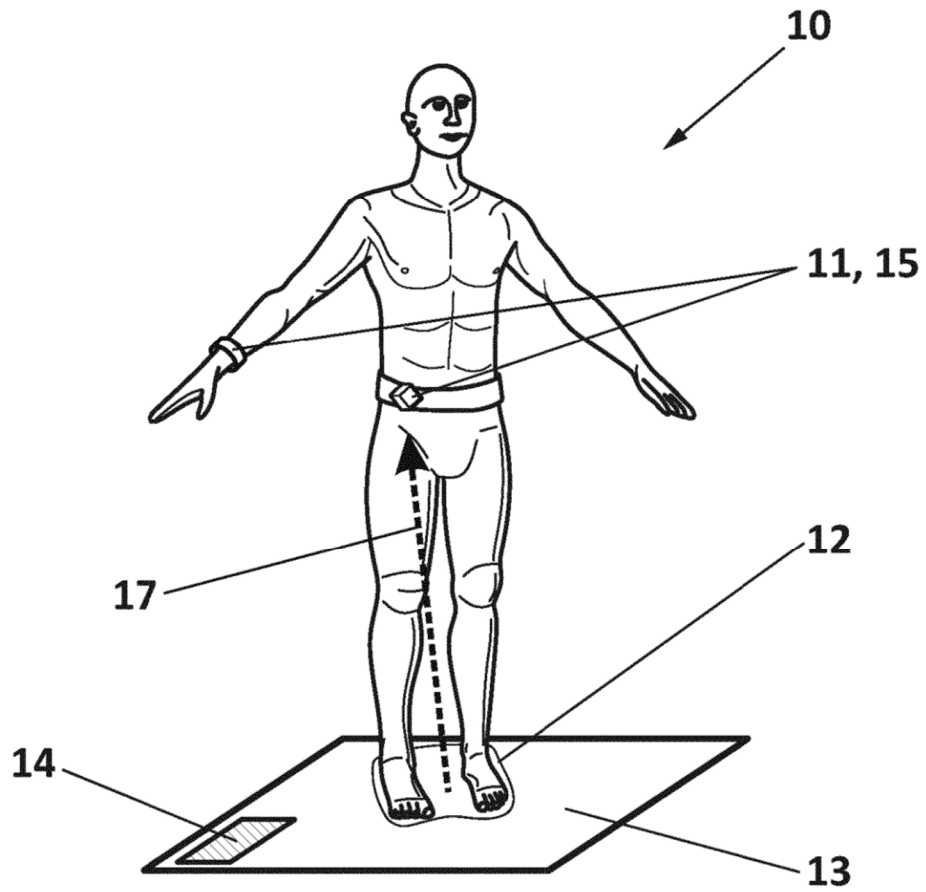
9. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde la orientación de al menos un sensor conectado al cuerpo es accionado por al menos un servomotor.

55 10. Un método para obtener un índice de estabilidad de una persona, que comprende las etapas de:

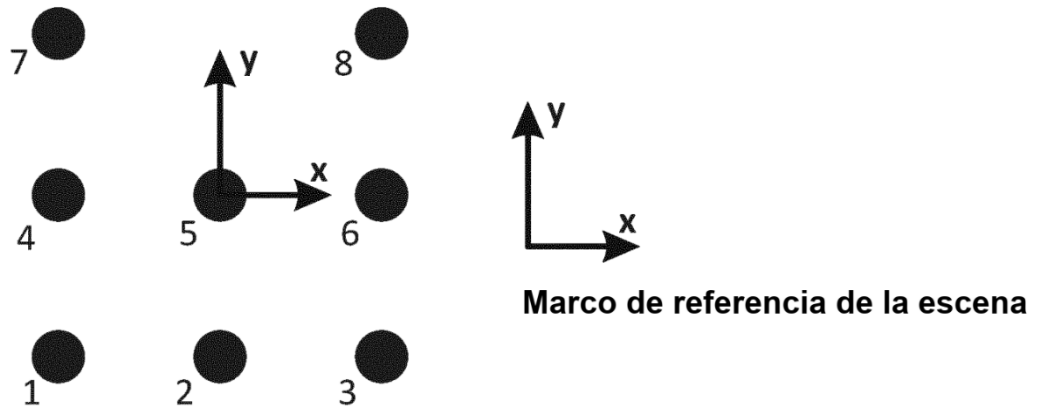
- mediante los medios de una pluralidad de sensores situados en una plataforma (13, 53, 13') sobre la que está situada una persona, capturar información de la presión aplicada por los pies de la persona o de la posición de los pies de la persona;
- 60 - a partir de dicha información capturada, extraer respectivamente (65, 65') un centro de presión o una posición de los pies;
- mediante al menos un sensor conectado al cuerpo de la persona situada sobre dicha plataforma (13, 53, 13'), capturar al menos una señal de referencia proporcionada por al menos un módulo de referencia dispuesto en una localización fija con respecto a dicha plataforma (13, 53, 13');

65 el método comprende además las etapas de:

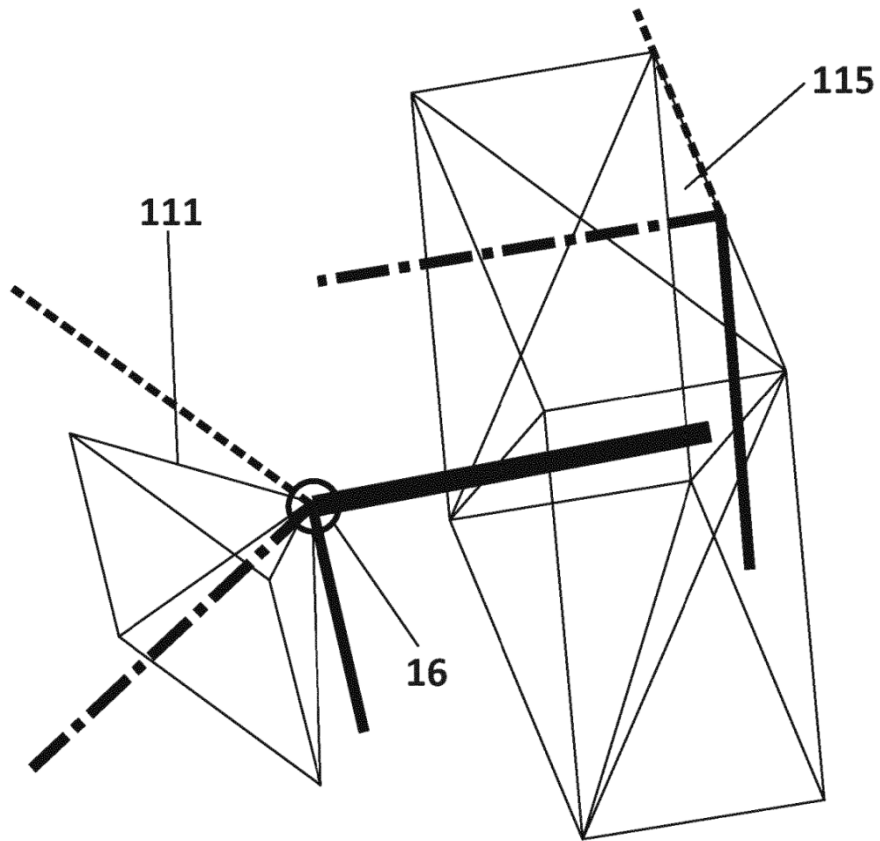
- extraer mediante medios de procesamiento información a partir de dicha al menos una señal de referencia capturada;
  - a partir de dicha señal de referencia, estimar (62, 165) mediante medios de procesamiento la posición y la orientación de dicho al menos un sensor con respecto a al menos un módulo de referencia;
  - a partir de dicha posición y orientación determinadas de dicho al menos un sensor, estimar por medios de procesamiento la posición y la orientación del cuerpo de dicha persona (63);
  - calcular mediante medios de procesamiento un índice de estabilidad (67) a partir de dicha posición y orientación del cuerpo de dicha persona y a partir de dicha posición de los pies o del centro de presión extraídos.
- 10 11. El método de la reivindicación 10, en donde dicha etapa de estimación (63) de la posición y la orientación del cuerpo de dicha persona se realiza como sigue:
- extrayendo (61) un punto de interés a partir de dicha al menos una imagen;
  - estimando (62) la posición relativa del sensor (11, 111, 1011) con respecto al patrón visual (14) y a la orientación del sensor (11, 111, 1011);
  - estimando (63) el centro de masas (CoM) de la persona a partir de dicha posición relativa y orientación del sensor (11, 111, 1011).
- 20 12. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11, que comprende además la etapa de medición de la aceleración del sensor y/o la velocidad angular del sensor y/o la orientación magnética del sensor.
- 25 13. El método de la reivindicación 12, en donde dicha etapa de estimación (62) de la posición y orientación de al menos un sensor (11 111) se refina (168) como sigue:
- adquiriendo (166) la aceleración y/o la velocidad angular y/o la orientación magnética del sensor;
  - estimando (167) la traslación y la orientación relativas del sensor;
  - refinando (168) la estimación de la posición y la orientación del sensor mediante la combinación de la estimación inicial (165) con la información adicional disponible (167).
- 30



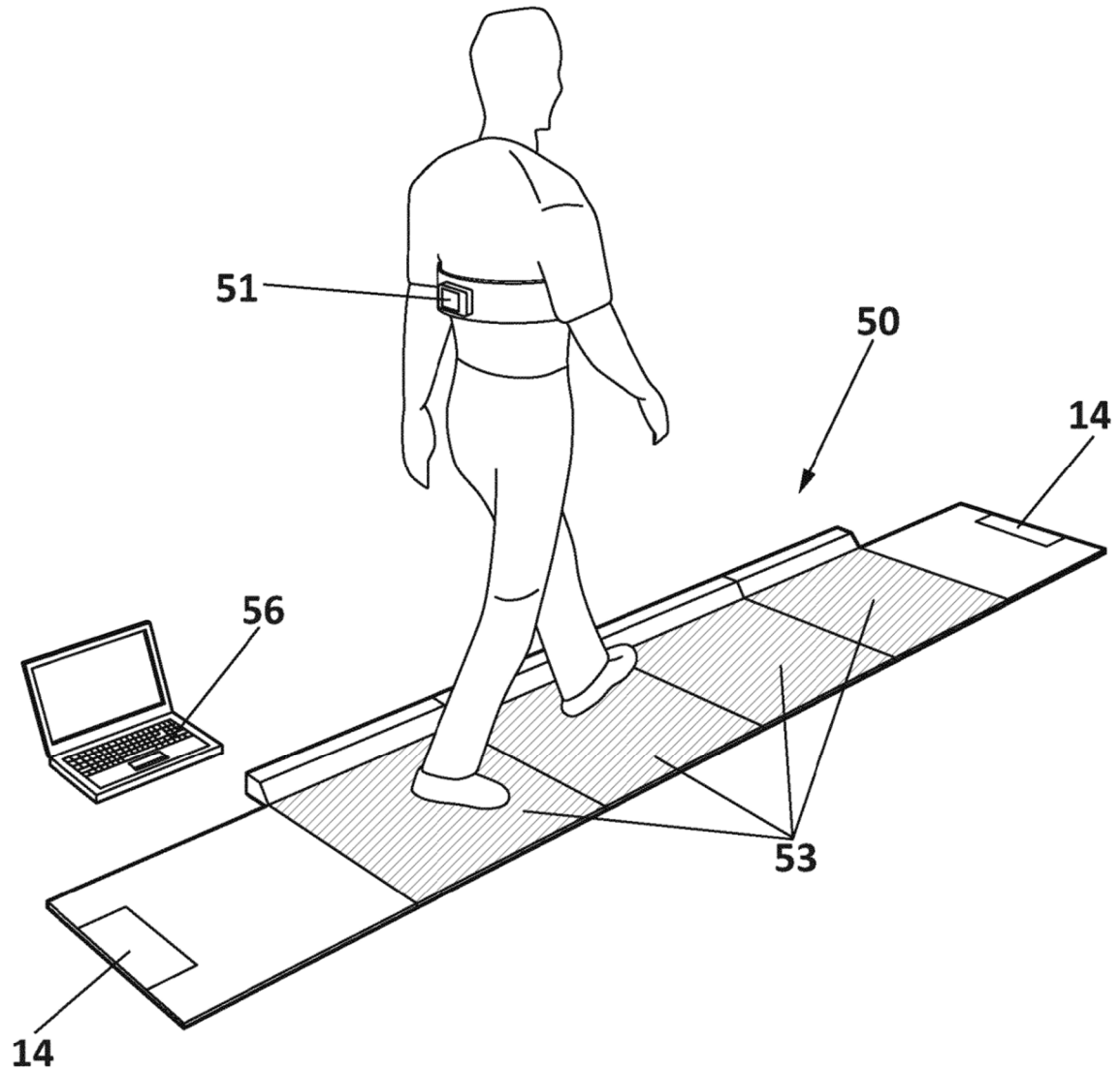
**FIG. 1**



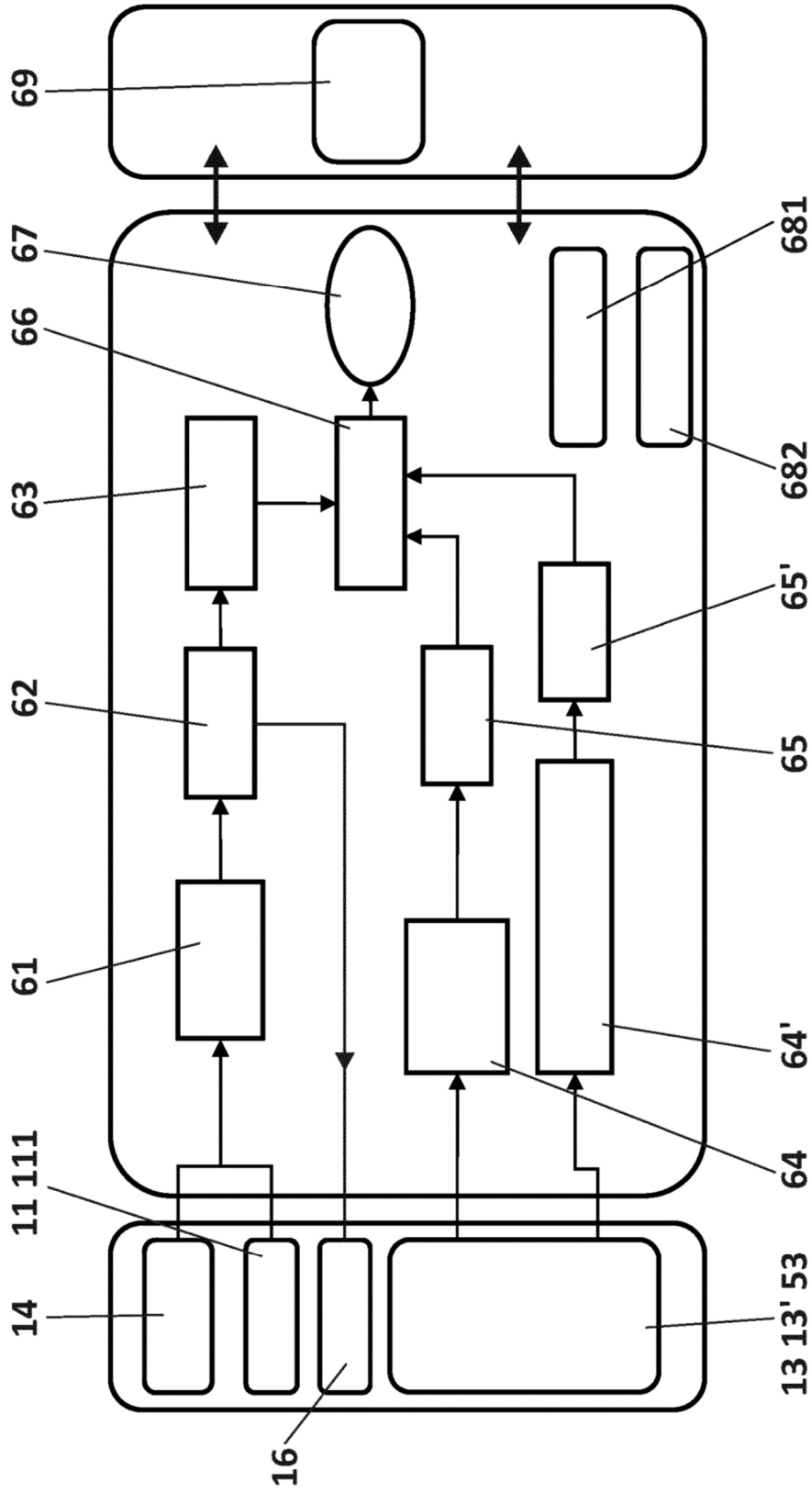
**FIG. 2**



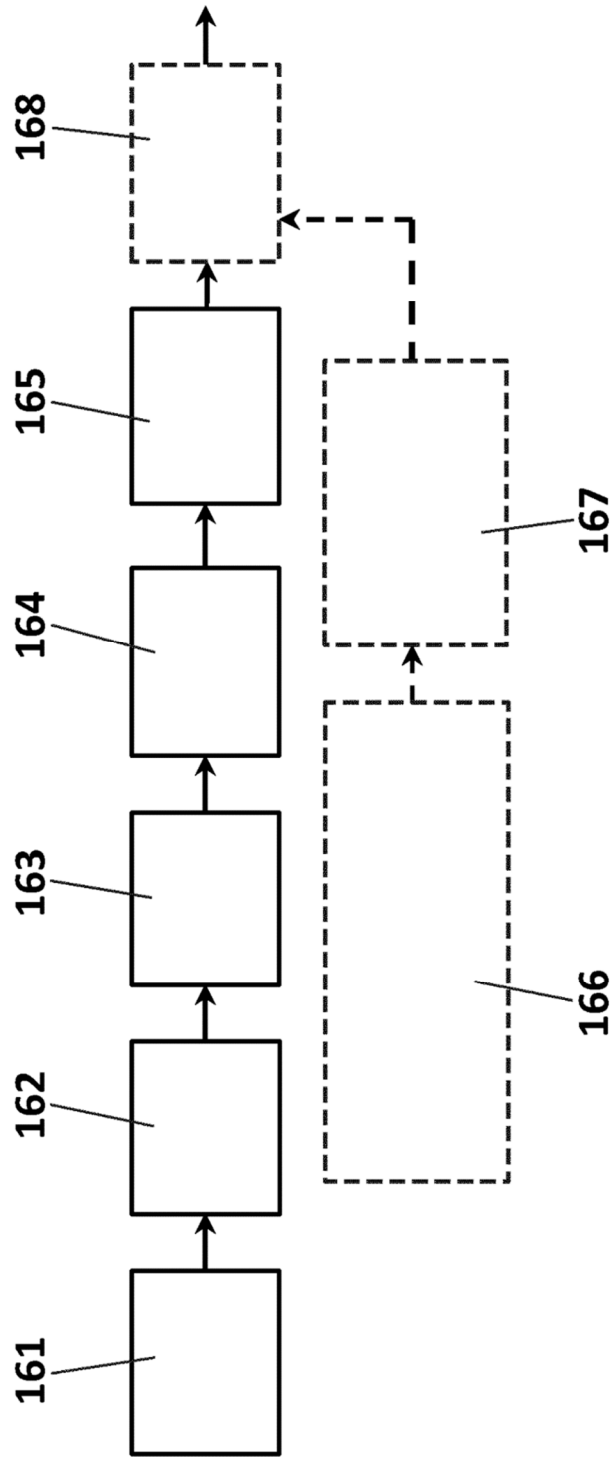
**FIG. 3**



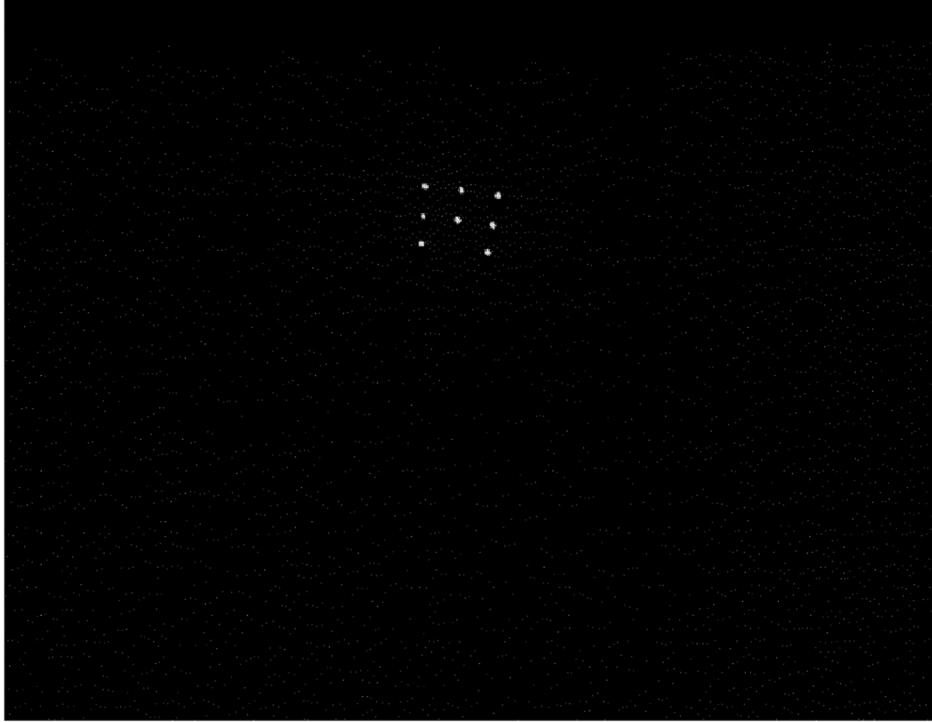
**FIG. 4**



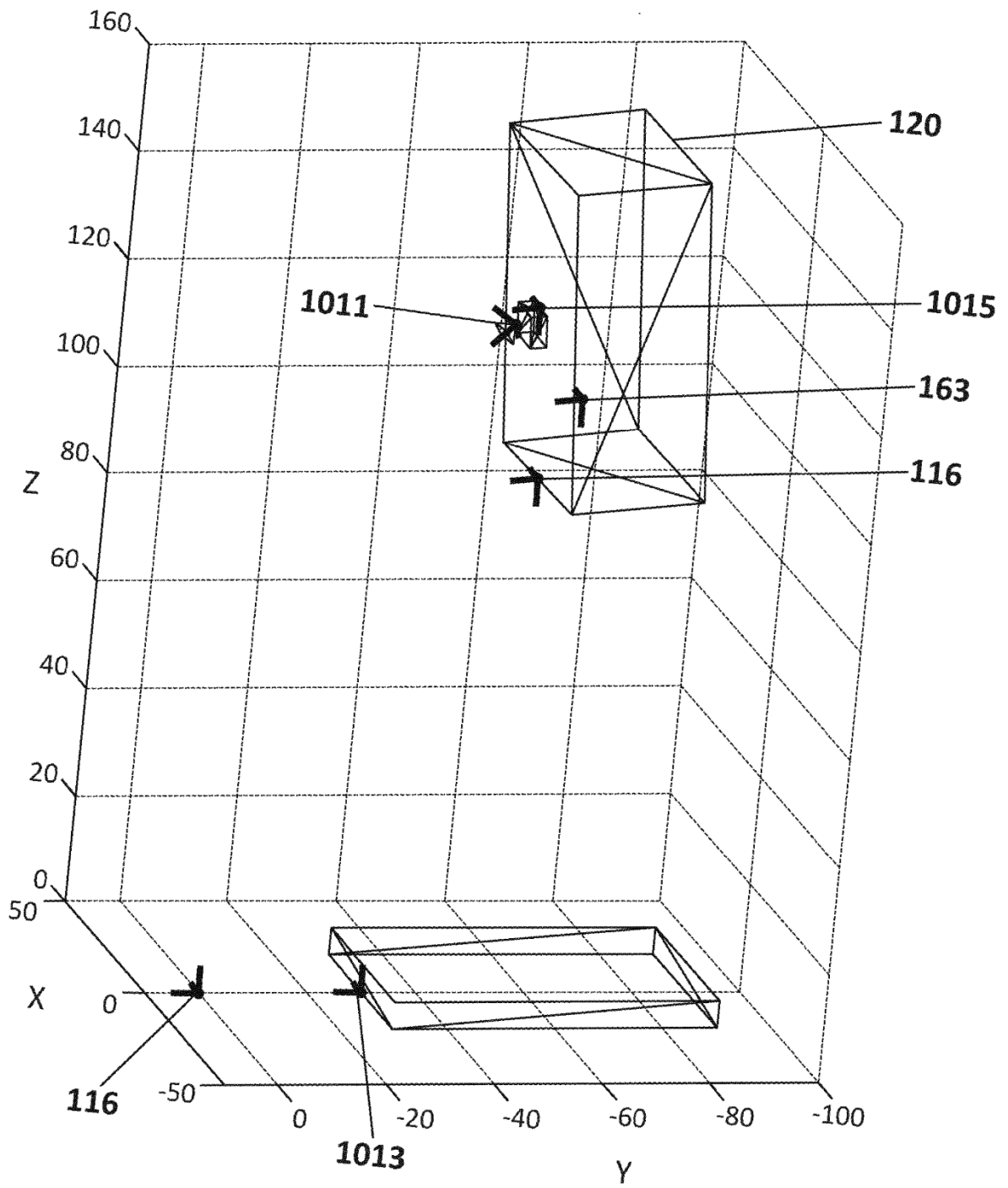
**FIG. 5**



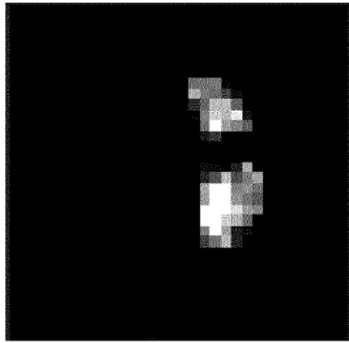
**FIG. 6**



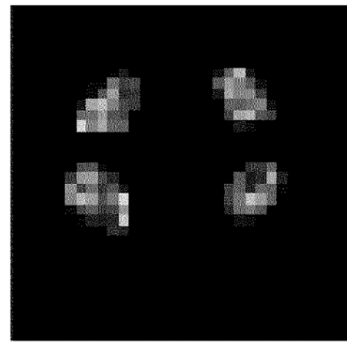
**FIG. 7**



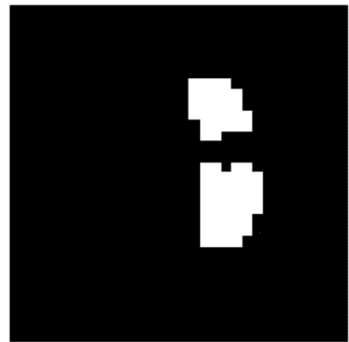
**FIG. 8**



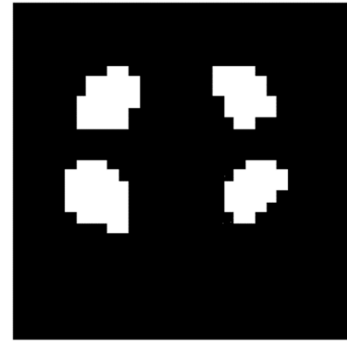
**FIG. 9A**



**FIG. 9B**



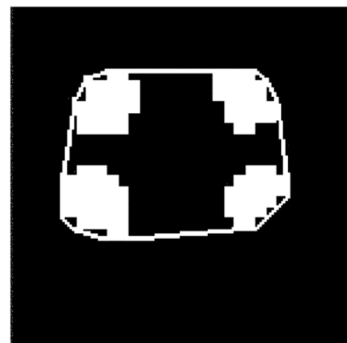
**FIG. 10A**



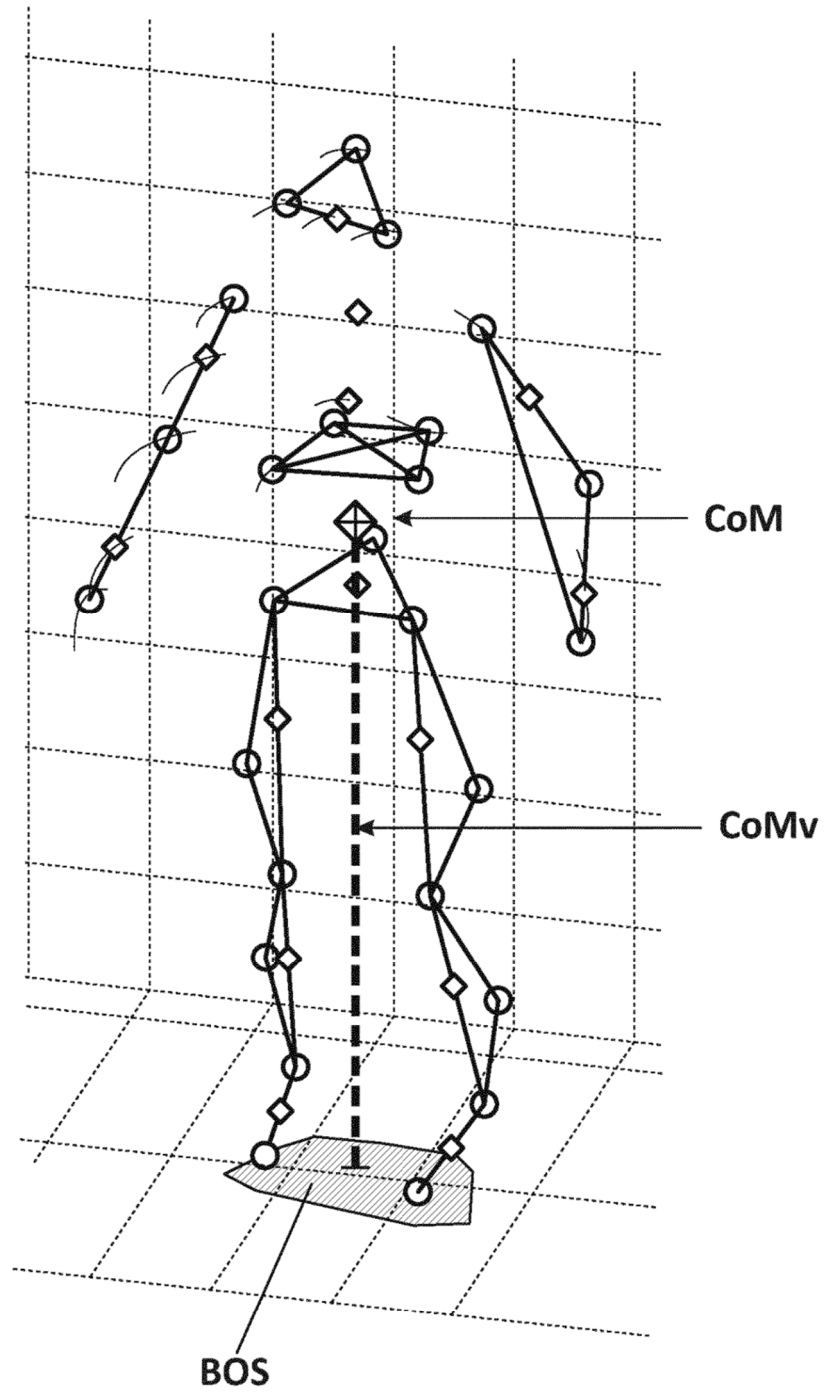
**FIG. 10B**



**FIG. 11A**



**FIG. 11B**



**FIG. 12**