(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **3 010 700**

(51) Int. Cl.:

B25J 9/00 (2006.01)
A61H 1/02 (2006.01)
A61H 3/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.07.2020 PCT/EP2020/069379**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **14.01.2021 WO21005160**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.07.2020 E 20739936 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2024 EP 3810376**

(54) Título: **Sistema de apoyo a la estabilización dependiente del movimiento**

(30) Prioridad:

10.07.2019 DE 102019210232

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.04.2025

(73) Titular/es:

KUHN, ELVIRA (50.00%)
Graf Reginarstrasse 33
54294 Trier, DE y
KUSMARTSEV, FEODOR (50.00%)

(72) Inventor/es:

FLAD, MICHAEL;
HOHMANN, SÖREN;
KÖPF, FLORIAN;
KUHN, ELVIRA y
KUSMARTSEV, FEODOR

(74) Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

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

Sistema de apoyo a la estabilización dependiente del movimiento

La presente invención se refiere a un sistema para detectar y prevenir una caída inminente de un cuerpo en movimiento.

Uno de cada doce adultos en Alemania sufre un accidente al menos una vez al año, y la causa más común de accidentes son las caídas. La proporción es de casi el 30 % y aumenta con la edad, por lo que en las personas mayores de 70 años la mayoría de los accidentes se producen por caídas. Una proporción no despreciable de estos accidentes está asociada a lesiones que a menudo requieren tratamiento hospitalario.

Debido al mayor riesgo de caídas, las personas mayores a menudo se retiran de la vida pública y pasan la mayor parte del tiempo en un entorno familiar. Por lo tanto, la disminución de la capacidad física conduce a un mayor aislamiento social.

Por lo tanto, es deseable reducir el número de caídas sin limitar la capacidad de las personas afectadas para funcionar en la vida diaria.

Por supuesto, no solo las personas mayores se ven afectadas por un mayor riesgo de caídas, sino también las personas cuya capacidad es limitada por otros motivos, por ejemplo, durante la rehabilitación tras un accidente que ya se ha producido. La prevención de caídas también es útil para otros cuerpos en movimiento, como un robot o un animal.

Hasta ahora, la detección de caídas se ha logrado técnicamente utilizando soluciones de asistencia que se encuentran en el entorno humano. Por ejemplo, una caída puede detectarse mediante sensores debajo de una alfombra que detectan la posición de la persona después de una caída.

También hay ayudas que ayudan a las personas a evitar caerse o a realizar los movimientos deseados. Estas incluyen, por ejemplo, pulseras que reconocen la caída una vez que se ha producido y activan una alarma. También se sabe que los exoesqueletos apoyan el movimiento humano al apoyar activamente los músculos del usuario.

El documento US-2016/346156 A1 se refiere a un sistema para ayudar a una persona a aprender a caminar. La persona recibe apoyo restringiendo su intervalo de movimiento.

El documento EP 3 342 390 A1 se refiere a un sistema que ayuda a una persona a subirse o bajarse de una silla de ruedas, a la vez que detecta y evita una caída inminente.

Sin embargo, los sistemas mencionados solo actúan una vez que ya se ha producido una caída o apoyan activamente al usuario del sistema en su movimiento actual. Es decir, los sistemas mencionados no están diseñados para evitar una caída.

El documento US-2019099113A1 se refiere a un método para la detección de caídas.

Además, los exoesqueletos con soporte de movimiento activo suelen ser pesados, inflexibles y consumen mucha energía, por lo que no son adecuados para su uso en la vida diaria. En este contexto, inflexible significa que la persona que los lleva puestos no puede ponérselos fácilmente. Además, significa una restricción espacial, como suele ocurrir con los sistemas de aprendizaje, ya que estos se basan en la observación de las trayectorias en el sentido físico y, por lo general, utilizan dispositivos ópticos para observar las curvas diana y las curvas reales.

Teniendo en cuenta las desventajas o deficiencias anteriores de la técnica anterior, es por lo tanto un objeto de la presente invención proporcionar un sistema mejorado y un método mejorado para prevenir una caída o para ayudar a estabilizar un cuerpo en movimiento. La estabilización se entiende como el mantenimiento de un estado estable de un cuerpo en movimiento. La aparición de un estado inestable debe evitarse sin mucho esfuerzo externo y en un tiempo muy corto y apenas perceptible. En nuestro caso, la flexibilidad se refiere al número de accionamientos de actuadores de diferentes longitudes y grosores, que pierden su flexibilidad y se endurecen cuando hay un pulso de corriente. El accionamiento se basa exclusivamente en el cuerpo móvil.

Este objetivo se consigue mediante las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones ventajosas.

La presente invención se refiere a un sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento para mantener la estabilidad de un cuerpo en movimiento. El sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento comprende una pluralidad de sensores diseñados para detectar los parámetros de movimiento del cuerpo. Además, el sistema comprende una pluralidad de actuadores y una unidad de control que está diseñada para detectar si la inestabilidad del cuerpo es inminente en función de los parámetros de movimiento y un modelo de movimiento biomecánico. La unidad de control está diseñada además para seleccionar una estrategia de estabilización de entre

una pluralidad de estrategias de estabilización predefinidas cuando se detecta que la inestabilidad del cuerpo es inminente y para controlar los actuadores según la estrategia de estabilización seleccionada. Los actuadores son deformables de forma flexible y se endurecen cuando son accionados por la unidad de control.

En otras palabras, la presente invención se refiere a un sistema para evitar la caída de un cuerpo en movimiento, tal como un ser humano o una persona que se mueve de tal manera que caería en el momento siguiente sin la intervención del sistema.

Mediante el uso de múltiples sensores, el sistema detecta los parámetros de movimiento del cuerpo, por lo que el sistema monitorea continuamente el movimiento del cuerpo.

Sobre la base de los datos registrados del sensor o los parámetros de movimiento y un modelo de movimiento biomecánico, se calcula si el cuerpo pasará a una posición inestable. Basándose en el resultado de la estimación de la inestabilidad futura y los parámetros de movimiento, se selecciona una estrategia de estabilización según la cual se accionan los actuadores unidos al cuerpo.

Una estrategia de estabilización es una regla predefinida para accionar los actuadores para una situación asignada o una posición estimada del cuerpo. Una estrategia de estabilización puede, por ejemplo, contener reglas sobre qué actuadores deben accionarse, en qué momento y de qué manera. La estrategia de estabilización según la cual se va a estabilizar el cuerpo se selecciona, por lo tanto, de una pluralidad de estrategias de estabilización predefinidas. Esto se hace sobre la base de los parámetros de movimiento detectados, el modelo de movimiento biomecánico y la posición futura determinada resultante del cuerpo en movimiento.

Una estrategia de estabilización puede incluir una secuencia temporal de accionamiento de diferentes grupos de actuadores, en donde un grupo de actuadores contiene un subconjunto predeterminado de los actuadores. Además, una estrategia de estabilización puede contener una regla de accionamiento de múltiples etapas, según la cual se acciona inicialmente un primer grupo de actuadores y, si se estima que la caída aún es inminente, se acciona un segundo grupo de actuadores. Por lo tanto, a los actuadores o grupos de actuadores se les puede asignar una prioridad de control para que actuadores adicionales puedan endurecerse según el efecto del accionamiento.

Los actuadores están unidos, por ejemplo, a posiciones predeterminadas del cuerpo en movimiento y son deformables de manera flexible, de modo que el intervalo de movimiento del usuario del sistema no está restringido o solo está mínimamente restringido. Sin embargo, cuando son accionados por la unidad de control, los actuadores se endurecen. En el caso de una caída inminente, el intervalo de movimiento del usuario del sistema se restringe específicamente de esta manera para evitar que se produzca realmente la inminente situación inestable.

La presente invención asegura así que no se produzca una situación inestable inminente del cuerpo móvil al suprimir el movimiento del cuerpo hacia la posición inestable. De este modo, se impide una caída inminente.

Según una realización específica, la unidad de control está diseñada además para ejecutar un proceso de control para terminar el accionamiento de los actuadores para su estabilización en función de los parámetros de movimiento.

Esto significa que, en el caso de que ya no sea necesaria una restricción de movimiento porque la caída ya no es inminente o se ha evitado con éxito, la unidad de control elimina la restricción del intervalo de movimiento al suspender el accionamiento de los actuadores como parte de un proceso de control. Por ejemplo, el endurecimiento de los actuadores individuales puede cancelarse uno tras otro o, por ejemplo, reducirse gradualmente.

Los parámetros de movimiento se detectan y evalúan continuamente con respecto a la inestabilidad inminente del cuerpo. Esto garantiza que no se produzca ninguna caída incluso durante o durante la finalización de la prevención de caídas. Esto se logra mediante la implementación de un control específico para suspender la medida de prevención de caídas.

Según una realización preferida, el modelo de movimiento biomecánico se basa en una formalización del movimiento de un péndulo invertido simple o un péndulo invertido doble.

Un péndulo invertido es un péndulo con el centro de masa por encima del eje. Dicho péndulo está en posición de reposo en su punto más alto, pero abandona la posición de reposo incluso cuando hay pequeñas desviaciones. Dicho péndulo es adecuado de manera sencilla para modelar la posición de un cuerpo en movimiento, en particular un cuerpo humanoide. Por lo general, una persona mantiene un estado estable a través de la correspondencia continua de la posición y el movimiento correspondiente.

El uso de un péndulo invertido simple permite modelar la posición del cuerpo en movimiento de una manera que requiere un esfuerzo computacional mínimo.

Un péndulo invertido doble es una combinación de dos péndulos invertidos simples, con el segundo péndulo invertido montado sobre el primer péndulo invertido. Un péndulo invertido doble de este tipo es adecuado para un modelado

más preciso de la posición de un cuerpo similar al humano. En particular, un modelo de este tipo es capaz de modelar la flexión de un cuerpo en movimiento, por ejemplo, un cuerpo con forma humana.

Según otra realización preferida, el modelo de movimiento biomecánico se basa en la formalización del movimiento de un péndulo invertido simple sobre un resorte o un péndulo invertido doble sobre un resorte.

En otras palabras, el movimiento o la posición del cuerpo se pueden modelar mediante un péndulo invertido simple o un péndulo invertido doble, cada uno montado en un resorte. El resorte representa una flexibilidad del cuerpo a modelar en la dirección de un eje vertical.

Con los modelos mencionados, que incluyen el resorte, es posible un modelado preciso o más realista del movimiento del cuerpo en movimiento, en donde la complejidad de la descripción de la posición o el movimiento del cuerpo aumenta debido al creciente número de grados de libertad.

Según otro aspecto, el modelo de movimiento biomecánico es un modelo de movimiento biomecánico extendido del cuerpo que modela un sistema muscular del cuerpo humano para personas de diferentes edades utilizando un sistema de péndulos invertidos conectados a resortes elásticos.

Es decir, al acoplar varios péndulos invertidos mediante resortes elásticos, se puede realizar un modelo complejo del movimiento del cuerpo en movimiento. En particular, las propiedades de los resortes (por ejemplo, la rigidez del resorte y la longitud de los resortes) se pueden utilizar para modelar de forma realista las propiedades del cuerpo móvil. Por ejemplo, la rigidez elástica de los resortes de acoplamiento se puede establecer en un valor mayor para un usuario humano del sistema que sea joven que para un usuario humano mayor, con el fin de reflejar las diferentes características del sistema muscular del cuerpo para personas de diferentes edades.

Según otra realización, la unidad de control está diseñada además para determinar las posiciones de los puntos de referencia predeterminados del modelo de movimiento biomecánico en función de los parámetros de movimiento recibidos del cuerpo y para detectar la inestabilidad inminente del cuerpo en función de las trayectorias de los puntos de referencia del modelo de movimiento biomecánico.

Esto significa que las coordenadas (posiciones actuales y siguientes de los puntos de referencia) del modelo matemático de movimiento se determinan en función de los parámetros de movimiento del cuerpo. Para estimar la inestabilidad inminente, las posiciones de los puntos de referencia del modelo matemático de movimiento se evalúan con respecto a la posición del plano de soporte.

Según una realización preferida, la unidad de control detecta la inestabilidad inminente del cuerpo calculando las posiciones futuras basándose en los cambios entre las posiciones anteriores y actuales de los puntos de referencia del modelo de movimiento biomecánico. Si las posiciones futuras cumplen al menos una condición de una pluralidad de condiciones predefinidas, la unidad de control reconoce que la inestabilidad del cuerpo es inminente.

Esto significa que se puede hacer una predicción de la posición futura del cuerpo en función de los datos del sensor o los parámetros de movimiento que se detectaron o registraron en el pasado. En otras palabras, se lleva a cabo una extrapolación de la posición del cuerpo o del modelo de movimiento biomecánico para estimar una inestabilidad inminente del cuerpo.

Para este propósito, los parámetros de movimiento se usan para determinar las posiciones de los puntos de referencia predefinidos del modelo de movimiento biomecánico en momentos dados o con una velocidad de detección predefinida. En función de las posiciones de los puntos de referencia del modelo y de las propiedades del modelo (péndulo invertido simple/doble, rigidez del resorte, longitudes del péndulo,...), la situación se extrapola al futuro y la estabilidad o inestabilidad se estima en función de las posiciones futuras.

Según un aspecto adicional, cada uno de los sensores comprende una unidad de almacenamiento y una unidad de cálculo, en donde la unidad de almacenamiento está diseñada para almacenar datos de sensores anteriores y la unidad de cálculo está diseñada para procesar los datos de sensores anteriores y actuales y para capturar un resultado del procesamiento como parámetros de movimiento del cuerpo.

Es decir, los datos del sensor primario se preprocesan primero dentro del propio sensor y el resultado se transmite a la unidad de control como un parámetro de movimiento. Por ejemplo, el preprocesamiento puede incluir determinar los cambios en los datos del sensor primario de modo que se proporcione a la unidad de control un cambio en el valor medido correspondiente, en lugar del valor medido en sí mismo, como parámetro de movimiento. Esto reduce el esfuerzo computacional de la unidad de control y también reduce la cantidad de datos a transmitir.

Según una realización preferida, la unidad de control, después de detectar la inestabilidad inminente del cuerpo basándose en los parámetros de movimiento del cuerpo, determina si la inestabilidad del cuerpo persiste o no. La unidad de control controla los actuadores en consecuencia.

Esto significa que después de detectar la inestabilidad inminente, no solo se toman las medidas apropiadas (selección de la estrategia de estabilización y control de los actuadores correspondientes), sino que la posición o el movimiento del cuerpo se monitorizan continuamente para que se pueda reconocer si la inestabilidad aún es inminente o si la estrategia de estabilización o prevención de caídas iniciada puede terminar.

Según una realización específica, los actuadores tienen forma de tubo y están llenos de un medio magnéticamente sensible o eléctricamente sensible que se endurece cuando es accionado por la unidad de control.

En otras palabras, los actuadores tienen una forma alargada con una anchura pequeña en comparación con su longitud. La estructura exterior de los actuadores es hueca y está rellena con un material que cambia su deformabilidad elástica cuando se aplica un campo eléctrico o magnético, por lo que se requiere un mayor desembolso de fuerza para lograr la misma deformación en comparación con el caso en donde no se aplica ningún campo eléctrico o magnético. Alternativamente, el material en cuestión puede cambiar su deformabilidad cuando una corriente fluye a través del material.

Esto asegura que cuando los actuadores son accionados por la unidad de control, los actuadores se endurezcan, restringiendo así el intervalo de movimiento del cuerpo. Por el contrario, si no se aplica ningún campo eléctrico o magnético, los actuadores pueden deformarse con un esfuerzo mínimo, de modo que el intervalo de movimiento del usuario del sistema no esté restringido, o solo esté mínimamente, restringido.

Por ejemplo, un material eléctricamente sensible son los polímeros electroactivos que cambian sus propiedades mecánicas cuando se aplica un voltaje eléctrico.

En una realización específica, los actuadores contienen un fluido magnetorreológico que se endurece cuando se aplica un campo magnético. En este caso, cada uno de los actuadores comprende un generador de campo magnético que, cuando es accionado por la unidad de control, genera un campo magnético para endurecer el fluido magnetorreológico.

Un fluido magnetorreológico es una suspensión de partículas polarizadas magnéticamente que se distribuyen finamente en un fluido portador. Las partículas son aproximadamente de uno a tres órdenes de magnitud mayores que las de los ferrofluidos, lo que hace que un fluido magnetorreológico se solidifique cuando se aplica un campo magnético.

Según otro aspecto, los sensores son unidades de medición inerciales que detectan aceleraciones o velocidades de rotación como parámetros de movimiento del cuerpo.

Por ejemplo, estos pueden ser sensores para medir la aceleración lineal, el cambio en una velocidad de rotación o la velocidad de rotación en sí misma. Mediante la integración simple o múltiple de los valores medidos en la dimensión temporal, se pueden determinar las posiciones o los ángulos.

El cuerpo en movimiento puede ser una persona o un robot humanoide.

Según una realización específica, la pluralidad de sensores está diseñada para unirse al menos a las caderas, los hombros, las manos y/o la cabeza de la persona o robot humanoide.

Esto significa que al evaluar los datos del sensor, se pueden determinar las posiciones de las caderas, los hombros, los brazos, las manos y/o la cabeza.

Según otro aspecto, la pluralidad de actuadores está diseñada para unirse a la región de las articulaciones y/o el torso de la persona o el robot humanoide con el fin de restringir el intervalo de movimiento de las articulaciones y/o el torso al endurecerse cuando son accionados por la unidad de control.

Según otra realización específica, el sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento comprende además una pluralidad de segundos actuadores que están diseñados para realizar un movimiento activo cuando son accionados por la unidad de control. La unidad de control está diseñada además para accionar los segundos actuadores según la estrategia de estabilización seleccionada.

Esto significa que, además de los actuadores que se endurecen cuando son accionados por la unidad de control, el sistema puede comprender segundos actuadores adicionales que realizan un movimiento activo cuando son accionados por la unidad de control.

Además de restringir el intervalo de movimiento del cuerpo, esto también permite una intervención activa en el movimiento, de modo que si una caída es inminente y no se puede prevenir endureciendo solo los actuadores, los segundos actuadores pueden obligar al cuerpo a moverse hacia un estado estable.

Según un aspecto adicional, el sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento puede comprender una unidad de almacenamiento que almacena continuamente los parámetros de movimiento detectados, así como las estrategias de estabilización seleccionadas e implementadas.

Además, el sistema puede incluir una interfaz de programación de aplicaciones (API) a través de la cual los contenidos almacenados de la unidad de almacenamiento pueden ponerse a disposición de un dispositivo externo.

Con base en los parámetros proporcionados y las estrategias de estabilización seleccionadas/implementadas, se puede realizar un análisis de los efectos de las estrategias de estabilización para adaptar los parámetros del modelo de movimiento biomecánico, así como las estrategias de estabilización, de modo que se pueda optimizar el soporte de estabilización.

De esta manera, así como mediante un proceso de inicialización, el sistema y el modelo utilizados pueden adaptarse a las características individuales del usuario.

La presente invención se refiere además a un método de soporte de estabilización dependiente del movimiento para mantener la estabilidad de un cuerpo en movimiento. El método de soporte de estabilización dependiente del movimiento comprende detectar los parámetros de movimiento del cuerpo y detectar si la inestabilidad del cuerpo es inminente en función de los parámetros de movimiento y un modelo de movimiento biomecánico. Además, el método comprende seleccionar una estrategia de estabilización de entre una pluralidad de estrategias de estabilización predefinidas cuando se detecta que la inestabilidad del cuerpo es inminente, así como endurecer los actuadores deformables de manera flexible según la estrategia de estabilización seleccionada.

Con el sistema de la presente invención, se puede predecir de manera fiable un estado inestable futuro del usuario del sistema, es decir, del cuerpo en movimiento, y se pueden tomar las contramedidas apropiadas. En particular, se puede restringir el intervalo de movimiento del cuerpo con el objetivo de dificultar cualquier movimiento que conduzca a un estado inestable. Esto asegura que no se produzca la caída inminente.

Ventajas y beneficios adicionales de la presente invención se derivan de la descripción detallada de una realización preferida y de los dibujos.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama de bloques esquemático de los componentes del sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento.

La Figura 2 muestra la posición de los actuadores en una realización del sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento en un usuario humano.

La Figura 3 muestra la posición de los sensores y la unidad de control en una realización del sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento en un usuario humano.

Las Figuras 4A a 4D muestran modelos de movimiento biomecánico ejemplares que pueden usarse para determinar la estabilidad futura de un usuario del sistema de soporte de estabilización.

Las Figuras 5A a 5C muestran, a modo de ejemplo, la posición del centro de masa de un usuario del sistema de soporte de estabilización y su posición vertical en el plano de postura del cuerpo.

La Figura 6A muestra, a modo de ejemplo, la posición de la proyección vertical del centro de masa sobre el plano de postura del cuerpo y su posición relativa a la base de soporte en el caso de una posición estable del cuerpo.

La Figura 6B muestra, a modo de ejemplo, la posición de la proyección vertical del centro de masa sobre el plano de postura del cuerpo y su posición relativa a la base de soporte en el caso de una posición inestable del cuerpo.

Las Figuras 7A a 7E muestran, a modo de ejemplo, la posición de la base de soporte para diferentes posiciones de los pies de un usuario humano del sistema cuando está de pie y cuando está en movimiento.

La Figura 8 muestra, a modo de ejemplo, una formalización de un movimiento como trayectoria de un péndulo doble invertido sobre un resorte.

La Figura 9 muestra un diagrama de flujo de un método para apoyar la estabilización de un cuerpo en movimiento.

La Figura 10 muestra un diagrama de bloques esquemático de un sensor (MEM-SSC) que envía datos de sensor preprocesados como parámetros de movimiento a la unidad de control.

La Figura 11 muestra, a modo de ejemplo, una realización del sistema de soporte de estabilización que comprende adicionalmente segundos actuadores que realizan un movimiento activo.

Descripción detallada de la realización preferida

A continuación, se describe en detalle una realización preferida de la presente invención con referencia a los dibujos.

La Figura 1 muestra un diagrama de bloques del sistema de estabilización dependiente del movimiento 100 según una realización preferida.

El sistema de estabilización dependiente del movimiento 100 (en lo sucesivo también denominado sistema de estabilización 100 o sistema 100) comprende una pluralidad de sensores 110a-110c que detectan los parámetros de movimiento del cuerpo 200. Además, el sistema comprende una pluralidad de actuadores 120a-120c y una unidad 130 de control. Además, el sistema incluye una fuente de alimentación, por ejemplo, una batería, un acumulador, un sistema de suministro de energía inalámbrico u otra fuente de alimentación, para suministrar energía a los componentes individuales, y una unidad de almacenamiento tal como una RAM, una ROM o una unidad de disco duro, a la que puede acceder la unidad 130 de control.

Las Figuras 2 y 3 muestran la posición de los sensores 110 y los actuadores 120 del sistema de estabilización 100 en un usuario humano (una persona) como un cuerpo 200 en movimiento. Los actuadores 120 están unidos en las regiones de las articulaciones de la persona 200, así como en la región del torso en la parte delantera, trasera y lateral. Además, un actuador 120 está conectado en la región del cuello de la persona.

Los sensores 110 están ubicados en la parte superior de la cabeza, en la región del cuello y cerca del centro del cuerpo y las articulaciones en la región de los hombros, los codos, las muñecas, las caderas, las rodillas y los tobillos.

La presente invención no se limita a la posición descrita de los actuadores 120. Por ejemplo, puede ser que los actuadores 120 estén unidos solo en la región de las piernas y las caderas. Además, una pluralidad de actuadores 120 pueden estar ubicados en la región de la espalda, en particular en la región de la columna vertebral.

Además, la presente invención no se limita a la posición descrita de los sensores 110. Por ejemplo, pueden estar unidos en el centro de las partes de las extremidades en lugar de en la región de las articulaciones de la persona 200. Por ejemplo, se podría instalar un sensor en la región de la palma, en la región del antebrazo y la parte superior del brazo, y en la región de la parte inferior y superior de la pierna.

Además, el sistema de estabilización 100 comprende la unidad 130 de control, que, como puede verse en la Figura 3, está unida en la región del pecho de la persona 200. Sin embargo, la presente invención no se limita a esta posición de la unidad de control. Por el contrario, se puede unir en cualquier ubicación del cuerpo 200. Alternativamente, se puede conectar no directamente a la persona, sino que se puede llevar, por ejemplo, en una mochila o inyectarse en un circuito integrado (chip).

El sistema de estabilización comprende además una fuente de energía o suministro de energía, tal como una batería, junto con líneas para el suministro de voltaje, así como líneas de comunicación para la transmisión de señales entre los componentes individuales del sistema 100.

La presente invención no se limita a un sistema de suministro de energía central. Más bien, cada componente individual puede contener un suministro de energía correspondiente.

Esto puede implementarse, por ejemplo, como una línea de transmisión común entre los componentes individuales del sistema de estabilización 100 en forma de una línea de bus. Sin embargo, la presente invención no se limita a la transmisión de datos en un sistema de bus; por el contrario, la transmisión de datos entre los componentes individuales puede tener lugar de cualquier manera. También es posible la transmisión inalámbrica de datos entre los componentes, por ejemplo, a través de una red inalámbrica local (WLAN) o conexiones Bluetooth®.

El sistema 100 se puede incrustar en una estructura de soporte que se puede unir a la persona 200. Alternativamente, los componentes se pueden integrar en los textiles usados por la persona 200. La presente invención no se limita a un sistema de soporte o método específico para sujetar los componentes individuales, siempre que los sensores puedan detectar los parámetros de movimiento requeridos y los actuadores restrinjan la unidad de movimiento de la persona 200 cuando están rígidos.

Los sensores 110 detectan los parámetros de movimiento del cuerpo 200 y los envían a la unidad 130 de control. Los parámetros de movimiento pueden ser, por ejemplo, valores de aceleración, valores de velocidad o tasas de rotación, dependiendo de las características de los sensores individuales 110a-110c. La transmisión de los parámetros de movimiento tiene lugar con una regularidad predeterminada, por ejemplo, cada 0,1, 0,2, 0,5 o 1 segundo.

Sin embargo, la presente invención no se limita a una velocidad de transmisión/detección específica. Más bien, los parámetros de movimiento pueden transmitirse a la unidad 130 de control en cualquier momento regular o también irregular.

La unidad de control comprende además una unidad de almacenamiento que almacena los parámetros de movimiento recibidos.

Basándose en los parámetros de movimiento recibidos o en los cambios en los datos de movimiento, la unidad 130 de control determina las posiciones de los puntos de referencia de un modelo de movimiento biomecánico.

Las Figuras 4A a 4B muestran, a modo de ejemplo, cuatro modelos de movimiento biomecánico de diferentes grados de complejidad.

La Figura 4A muestra, a modo de ejemplo, un modelo de movimiento biomecánico basado en un péndulo invertido simple. La posición del modelo de movimiento biomecánico se describe claramente mediante la desviación angular θ desde la posición de equilibrio. Los parámetros l_1 y m_1, que indican la longitud del péndulo y la masa, están predefinidos y pueden configurarse, por ejemplo, durante la inicialización del sistema 100.

La Figura 4B muestra, a modo de ejemplo, un modelo de movimiento biomecánico basado en péndulos invertidos dobles. La posición de este modelo de movimiento biomecánico se describe mediante la desviación angular θ del primer péndulo invertido y la desviación angular φ del segundo péndulo invertido. Los parámetros l_1, m_1, l_2 y m_2, que indican la longitud del primer péndulo, la primera masa, la longitud del segundo péndulo y la segunda masa, están predefinidos y pueden configurarse como para el péndulo invertido simple durante la inicialización del sistema 100.

Los modelos ejemplares de movimiento biomecánico mostrados en las Figuras 4C y 4D corresponden a los modelos mostrados en las Figuras 4A y 4B, en donde los modelos contienen además un resorte en donde se montan los péndulos. La deflexión y_s del resorte y la rigidez k del resorte se añaden así como parámetros adicionales para la posición de los modelos de movimiento.

Como ya se ha descrito, los parámetros del modelo de movimiento biomecánico, que describen las propiedades del modelo, pueden configurarse durante una inicialización del sistema 100. Las propiedades del cuerpo 200 que va a ser estabilizado por el sistema 100 pueden tenerse en cuenta para que el modelo pueda representar de manera óptima el movimiento de la persona (cuerpo) 200.

Por ejemplo, las características de la persona 200 en función de las cuales se inicializan los parámetros del modelo pueden incluir la altura, la longitud de las extremidades, la edad y el peso. Sin embargo, la presente invención no se limita a estas propiedades. En particular, se puede especificar una configuración estándar que no tenga en cuenta las propiedades geométricas individuales del cuerpo. Por otro lado, se puede usar una distribución de peso y/o una geometría detalladas de la persona 200 como base para inicializar los parámetros del modelo.

Los modelos de movimiento biomecánico mostrados en las Figuras 4A a 4D están limitados a dos dimensiones (x, y), donde y indica una dirección hacia adelante del cuerpo 200 e y indica un eje vertical del cuerpo 200. Sin embargo, la presente invención no se limita a un modelo en dos dimensiones, y es posible extender los modelos de movimiento biomecánico a tres dimensiones, que además tenga en cuenta una desviación perpendicular a las direcciones mostradas, es decir, dentro o fuera del plano del dibujo. Para describir la posición de los modelos de movimiento, se requieren coordenadas de deflexión angular adicionales, que mapeen la deflexión de los péndulos individuales en el plano del dibujo. Dado que una extensión a tres dimensiones no cambia el principio básico de la presente invención, sino que permite una descripción más precisa/ampliada de la posición del cuerpo 200 debido al mayor grado de complejidad, en este punto se ha omitido una representación pictórica.

Además, la presente invención no se limita a los modelos de movimiento mostrados en las Figuras 4A a 4D. Más bien, al añadir péndulos adicionales, se puede tener en cuenta, por ejemplo, la posición de los brazos, ambas piernas y/o la cabeza. Además, el modelo de movimiento biomecánico puede incluir otro péndulo doble invertido, que se acopla al modelo mostrado a través de otro resorte con una rigidez de resorte asociada.

Basándose en los parámetros de movimiento que son detectados por los sensores 110 y enviados a la unidad 130 de control, la unidad 130 de control determina primero las coordenadas para describir la posición del modelo de movimiento biomecánico. Además, la unidad de control determina la posición de los puntos de referencia, en particular la posición de la cabeza, de las manos, del centro de masa del cuerpo y/o de los pies de la persona 200, en función de los parámetros de movimiento y la posición del modelo de movimiento biomecánico. Además, la unidad de control determina la posición de los puntos de referencia, en particular la posición de la cabeza, de las manos, del centro de masa del cuerpo y/o de los pies de la persona 200, en función de los parámetros de movimiento y la posición del modelo de movimiento biomecánico. Además, la unidad 120 de control determina la posición de las proyecciones verticales de los puntos de referencia sobre el plano de postura del cuerpo.

Las Figuras 5A a 5C muestran, a modo de ejemplo, la proyección vertical del centro de masa CM del cuerpo sobre el plano de postura de la persona 200. Las Figuras 5A y 5B muestran a la persona 200 de pie en diferentes posiciones del cuerpo y las correspondientes direcciones de proyección vertical del centro de masa CM del cuerpo. La Figura 5C muestra la posición del centro de masa del cuerpo CM de una persona 200 en movimiento en comparación con la posición de pie. La dirección del movimiento se indica con una flecha horizontal.

Las Figuras 6A y 6B muestran posiciones esquemáticas de modelos de movimiento biomecánico, cada uno de los cuales representa las dos piernas (a, b) y la parte superior del cuerpo (c) de una persona 200. La proyección vertical del centro de masa CM del cuerpo sobre el plano de postura se indica con una flecha. Las posiciones de los pies definen la base de soporte, que se describe mediante un área entre los puntos de contacto de los pies con el plano de postura del cuerpo 200.

En la Figura 6A, la proyección del centro de masa CM del cuerpo está ubicada dentro de la base de soporte. Tal posición del modelo de movimiento en la Figura 6A puede considerarse «estable». Por el contrario, la proyección del centro de masa del cuerpo del modelo de movimiento de la Figura 6B se encuentra fuera de la base de soporte, por lo que la posición del modelo de movimiento puede considerarse «inestable».

Para aclarar la definición de la base de soporte, las Figuras 7A a 7C muestran las superficies de contacto de los pies de una persona 200 con la superficie de pie y la base de soporte definidas así como el área entre las superficies de contacto de los pies de una persona 200 en posición de pie. La base de apoyo está marcada con una línea discontinua. Las Figuras 7A y 7B muestran una posición con dos piernas, mientras que la Figura 7C muestra una posición con una sola pierna.

Cada una de las Figuras 7D y 7E muestra una base de soporte para una persona 200 en movimiento. Debido al movimiento de la persona 200, la base de soporte se extiende hacia adelante en comparación con la posición de pie.

Basándose en los parámetros de movimiento, la unidad 130 de control determina las posiciones de los puntos de referencia de la persona 200 en momentos específicos, así como la posición correspondiente con la ayuda del modelo de movimiento biomecánico. Los puntos en el tiempo pueden definirse, por ejemplo, mediante una cuadrícula equidistante temporalmente. Esto significa que las posiciones de los puntos de referencia y la posición del modelo de movimiento se determinan en etapas de tiempo particulares. Basándose en los parámetros de movimiento anteriores, las posiciones de referencia y la posición del modelo de movimiento, por ejemplo en un tiempo t_{i-1} y en el tiempo actual t_i, la posición del modelo de movimiento en un tiempo futuro t_{i+1} se determina utilizando el modelo de movimiento.

Esto se hace sobre la base de una formalización del movimiento del modelo de movimiento, como se muestra a modo de ejemplo en la Figura 8. La Figura 8 muestra la formalización de un modelo de movimiento de un péndulo doble invertido en un resorte, como se muestra en la Figura 4D. Utilizando el modelo matemático, la posición futura se calcula calculando las posiciones del CM del cuerpo o los puntos de referencia de las partes del cuerpo, los ángulos con respecto a la perpendicular y la proyección sobre la base de soporte, y la propia base de soporte utilizando las posiciones de referencia correspondientes de la persona 200.

Tras calcular la posición futura del modelo de movimiento, la unidad 130 de control determina si la posición futura satisface una condición predefinida. Las condiciones predefinidas pueden, por ejemplo, almacenarse en forma de una base de datos en la unidad de almacenamiento a la que accede la unidad 130 de control. Las condiciones predefinidas definen las posiciones del modelo de movimiento o las posiciones de los puntos de referencia del cuerpo que están asociadas con una inestabilidad de la persona 200 y requieren la intervención del sistema 100 para evitar una caída inminente.

Para ello, cada condición predefinida está vinculada a una estrategia de estabilización. En este caso, una estrategia de estabilización representa una regla para accionar los actuadores 120 con el fin de evitar que la persona 200 entre en la posición inestable inminente. Esto significa que, en función de la posición futura determinada del modelo de movimiento y las posiciones de referencia correspondientes de la persona 200, se selecciona una estrategia de estabilización adecuada si se ha estimado que la persona 200 (el cuerpo) se moverá a una posición inestable.

Las estrategias de estabilización definen los actuadores que se van a accionar y el tiempo en donde se accionan. Por ejemplo, se puede definir una actuación prioritaria. Esto significa que primero se acciona un actuador 120 específico o un grupo específico de actuadores, y un segundo actuador o un segundo grupo de actuadores solo si se estima que en un siguiente paso de tiempo no se podría evitar la futura posición inestable de la persona 200 accionando los actuadores 120.

La unidad 130 de control controla los actuadores 120 según la estrategia de estabilización seleccionada. Durante el control de los actuadores 120, es decir, durante la implementación de la estrategia de estabilización según la estrategia de estabilización seleccionada, la posición actual y futura de la persona 200 continúa determinándose de forma continua y, si se ha evitado la inestabilidad inminente, se termina el accionamiento de los actuadores 120. En este caso, la unidad 130 de control ejecuta un proceso de control para terminar el accionamiento de los actuadores.

Para el análisis de estabilidad, se pueden utilizar, por ejemplo, los siguientes datos de geometría: La altura, el peso de la persona 200, la longitud de las piernas y los brazos, la altura del centro del cuerpo sobre el suelo y su posición proyectada de forma perpendicular a la superficie de pie, la base de soporte, la posición central de la cabeza y/o las posiciones de las articulaciones como los tobillos, las rodillas, las caderas, los hombros, los codos o las muñecas. Los puntos de referencia son los puntos del cuerpo que, al proyectarse sobre el plano del suelo, determinan la región dentro de la cual deben ubicarse los centros de masa de un cuerpo para permanecer estable (véanse también las Figuras 6A-6B y 7A-7E) o los puntos que solo pueden cambiar dentro de un intervalo particular (consultar la tabla 1) para mantener el cuerpo estable. Por lo tanto, determinan la estabilidad.

La siguiente Tabla 1 muestra, a modo de ejemplo, las condiciones predefinidas para determinar la inestabilidad inminente de la persona 200.

Tabla 1: Condiciones predefinidas ejemplares para determinar la inestabilidad inminente de la persona 200.

Posición	**Región/cm**	**Cambio/cm**
Centro del cuerpo	10-40	5-15
Cadera derecha	10-15	5-10
Hombro derecho	10-60	5-20
Hombro izquierdo	10-60	5-20
Distancia centro del cuerpo - base de apoyo	5-35	5-20
...	...	...

En la Tabla 1, los puntos de referencia de la persona se enumeran bajo el nombre de columna Posición. El intervalo especifica un intervalo permitido del punto de referencia en relación con la posición de reposo correspondiente. En la Tabla 1 se proporciona un intervalo de valores para cada región (por ejemplo, 10-40 cm para el centro del cuerpo). Esto refleja que el intervalo permitido se puede establecer individualmente para cada usuario dentro del intervalo especificado, por ejemplo, dependiendo de la altura, el peso, la edad u otras características de la persona 200.

Si la unidad 130 de control determina que una posición futura de un punto de referencia, por ejemplo, el centro del cuerpo, está fuera del intervalo especificado, se lleva a cabo una estrategia de estabilización correspondiente.

El cambio esperado en la Tabla 1 indica un cambio admisible en la posición del punto de referencia dentro del intervalo permitido. De la misma manera que para el intervalo permitido, aquí también se especifica un intervalo de valores dentro del cual el cambio permitido se puede configurar individualmente para el usuario del sistema 100. Si el cambio estimado en la posición de un punto de referencia supera el cambio esperado (permitido), se selecciona e implementa una estrategia de estabilización adecuada.

Esto significa que no solo se controla si la posición futura está dentro del intervalo permitido, sino también si el cambio de posición esperado supera un cambio permitido. En ambos casos, se selecciona una estrategia de estabilización y los actuadores 120 se accionan en consecuencia.

Alternativamente o además de monitorear las posiciones de los puntos de referencia, también se puede monitorear la velocidad, la aceleración, el ángulo o la velocidad de rotación de los puntos de referencia. Si estos parámetros superan un umbral predeterminado, se selecciona y lleva a cabo una estrategia de estabilización. Por ejemplo, la inestabilidad futura puede detectarse si la aceleración medida en la espalda de la persona 200 supera un valor de 2 cm/s^2.

Además, en lugar de o además de las posiciones de los puntos de referencia, las velocidades o ángulos de rotación pueden monitorizarse y vincularse a las estrategias de estabilización correspondientes.

La presente invención no se limita a las condiciones predefinidas descritas anteriormente. Más bien, se pueden definir condiciones adicionales que definan un intervalo permisible o un cambio permisible en una posición, velocidad o aceleración de un punto de referencia del cuerpo 200.

Si la unidad 130 de control determina que la inestabilidad del cuerpo es inminente, utilizando las condiciones predefinidas, se selecciona una estrategia de estabilización adecuada y los actuadores 120 se activan en consecuencia.

Las posibles estrategias de estabilización vinculadas a las definiciones de inestabilidad inminente pueden ser: Apoyar la espalda y el cuello, endurecer los brazos para reducir los movimientos incontrolados o endurecer las caderas, las rodillas y los tobillos para estabilizarlos.

Por ejemplo, si una persona se inclina 200 veces hacia adelante (cabeza y manos fuera de los intervalos permitidos), se selecciona una estrategia de estabilización en donde los brazos y las muñecas se endurecen accionando los actuadores correspondientes para evitar que los brazos o las manos se muevan o giren. Además, la espalda está rígida.

Como otro ejemplo, si una persona 200 sentada se mueve demasiado rápido (detectada, por ejemplo, por la velocidad de la cadera y la velocidad angular de las articulaciones de la rodilla que están fuera del intervalo permitido en cada caso), el movimiento se ralentiza activando los actuadores 120 unidos a las articulaciones de la rodilla.

Sin embargo, la presente invención no se limita a las estrategias de estabilización descritas. Más bien, una estrategia de estabilización que está vinculada a una condición predefinida representa una regla de accionamiento para accionar los actuadores 120. Esta regla contiene qué actuadores se accionan y en qué momento si se cumple la condición correspondiente.

La Figura 9 muestra esquemáticamente las etapas de un método de soporte de estabilización dependiente del movimiento para mantener la estabilidad de un cuerpo móvil 200 según un ejemplo.

Tras el inicio, el sistema 100 se inicializa en la etapa S110. La inicialización incluye, por ejemplo, definir los parámetros del modelo de movimiento, tales como las longitudes del péndulo, las masas y la rigidez de los resortes. Además, la inicialización puede incluir la determinación de las posiciones de los sensores en el cuerpo 200. Los parámetros también pueden predeterminarse y almacenarse en una unidad de almacenamiento.

En la etapa S120, los parámetros de movimiento son detectados por los sensores 110 y enviados a la unidad 130 de control. En la etapa S130, la unidad 130 de control determina las posiciones del modelo de movimiento biomecánico basándose en los parámetros de movimiento y se extrapolan a lo largo del tiempo en la etapa S140 para poder estimar una inestabilidad inminente del cuerpo.

Para ello, en la etapa S150 se comprueba si las posiciones futuras cumplen condiciones predefinidas, tal como se definen, por ejemplo, en la Tabla 1. Si se cumplen una o más condiciones (sí en la etapa S150), se selecciona una estrategia de estabilización correspondiente en la etapa S160 y se implementa en la etapa S170 accionando los actuadores 120 correspondientes.

La detección de los parámetros de movimiento y el reconocimiento de la inestabilidad inminente se llevan a cabo de forma continua, de modo que los parámetros de movimiento se siguen detectando y evaluando después/durante el accionamiento de los actuadores.

Si las posiciones extrapoladas temporalmente no cumplen ninguna de las condiciones predefinidas (no en la etapa S150), el accionamiento de los actuadores finaliza en la etapa S180. La terminación del accionamiento se lleva a cabo solo si los actuadores 120 se accionan en el momento de la estimación de la inestabilidad inminente en la etapa S150.

En la etapa S190, se comprueba si se debe terminar el soporte de estabilización. Esto se puede hacer, por ejemplo, mediante una entrada del usuario del sistema 100. Si no se va a terminar el soporte de estabilización (no en la etapa S190), tiene lugar una detección y evaluación adicionales de los parámetros de movimiento. Para el caso en el que la estabilización deba terminar (sí, en S190), el método de soporte de estabilización finaliza en consecuencia.

En una primera modificación de la realización descrita anteriormente, al menos uno de los sensores 110 incluye una unidad 111 de detección, una unidad 112 de almacenamiento y una unidad 113 de cálculo, como se muestra en la Figura 10.

La unidad 111 de detección está diseñada para capturar datos de sensores que son almacenados posteriormente por la unidad 112 de almacenamiento. La unidad 113 de cálculo procesa los datos del sensor anteriores y actuales y envía un resultado del procesamiento como parámetros de movimiento del cuerpo a la unidad 130 de control.

Como resultado, parte del procesamiento de datos se lleva a cabo por los propios sensores 120 en lugar de por la unidad 130 de control. Por ejemplo, en lugar de datos de sensores tales como la velocidad de aceleración o rotación, el cambio en la velocidad de aceleración o rotación puede detectarse como parámetros de movimiento y transmitirse a la unidad 130 de control.

Además, la unidad 112 de almacenamiento también puede contener una o más condiciones predefinidas a las que accede la unidad 113 de cálculo para determinar si un parámetro de movimiento satisface una de las condiciones, de modo que la unidad 130 de control debe accionar los actuadores 120 correspondientes para evitar una inestabilidad inminente. Por esta razón, estos sensores también se denominan MEM-SSC (*memory stability control and monitoring* - control y monitoreo de estabilidad de memoria).

Según una segunda modificación de la realización descrita, el sistema 100 comprende, además de la pluralidad de sensores 110, la pluralidad de actuadores 120, y la unidad 130 de control, una pluralidad de segundos actuadores 140, también denominados actuadores activos 140.

La Figura 11 muestra, como ejemplo, una realización modificada de este tipo del sistema de soporte de estabilización 100, que comprende adicionalmente segundos actuadores 140 que realizan un movimiento activo.

Los actuadores activos 140 están unidos aquí en la región del cuello, la espalda, las caderas, las rodillas, los hombros, así como en los codos, los tobillos y las muñecas de la persona 200.

En la segunda modificación del sistema de estabilización 100, las estrategias de estabilización incluyen además instrucciones de control para accionar los segundos actuadores 140, además de accionar los actuadores rigidizables 120. Esto permite no solo restringir el intervalo de movimiento de la persona 200, sino también influir activamente en el movimiento de la persona 200 y, por lo tanto, estabilizar un cuerpo que ya está en proceso de caída.

Los segundos actuadores pueden implementarse, por ejemplo, como cilindros hidráulicos o neumáticos, accionamientos piezoeléctricos o accionamientos electromagnéticos clásicos.

Según una modificación adicional, no solo se utilizan los parámetros de movimiento detectados por los sensores correspondientes, sino también otros parámetros y/o valores medidos para estimar la estabilidad futura del cuerpo. Todos los parámetros utilizados para estimar la inestabilidad futura del cuerpo 200 pueden denominarse parámetros de influencia o parámetros ambientales que influyen en un movimiento.

Los parámetros ambientales que influyen en un movimiento incluyen, por ejemplo, el estado del suelo, como su resistencia al deslizamiento, como en suelos helados o superficies resbaladizas. Además, se pueden tener en cuenta las condiciones de la superficie del suelo. Por ejemplo, se puede hacer una distinción entre plano e irregular, duro, pedregoso o blando.

Las condiciones de la superficie del suelo mencionadas se pueden definir como un parámetro adicional dentro de las condiciones predefinidas. Por ejemplo, los intervalos, velocidades o aceleraciones permitidos pueden reducirse en el caso de un suelo resbaladizo. Además, se puede tener en cuenta la inclinación del suelo, de modo que, por ejemplo, los ángulos permisibles del modelo de movimiento con respecto a la perpendicular se reduzcan o aumenten según la inclinación del suelo.

Además, el sistema puede tener en cuenta el ruido, tanto a la hora de seleccionar la estrategia de estabilización como a la hora de definirla. Para ello, el sistema 100 puede estar equipado adicionalmente con un micrófono que detecta el ruido y lo transmite a la unidad 130 de control. La unidad de control procesa la señal de ruido detectada y selecciona una estrategia de estabilización adecuada. Por ejemplo, el agrietamiento de las articulaciones o la intensidad de un sonido respiratorio del usuario del sistema 100 pueden indicar la capacidad física actual del usuario, que se tiene en cuenta al elegir la estrategia de estabilización.

Además, el sistema puede equiparse con sensores adicionales cuyos valores medidos se pueden usar para determinar la emoción del usuario. Por ejemplo, los sensores para medir la resistencia de la piel, el pulso, la presión sanguínea y/o el ruido son adecuados para este propósito. La unidad 130 de control puede determinar una emoción del usuario basándose en los valores medidos registrados y puede estimar la situación de estabilidad futura teniendo en cuenta la emoción determinada. Por ejemplo, las condiciones predefinidas pueden incluir la emoción determinada como un parámetro adicional, de modo que, por ejemplo, en el caso de la excitación, se conceda al usuario un mayor intervalo de movimiento, lo que conduciría a una estimación de la inestabilidad en el caso de una emoción tranquila, por ejemplo.

En particular, las condiciones predefinidas para definir una situación inestable inminente del cuerpo, el modelo de movimiento biomecánico y las estrategias de estabilización se pueden definir/inicializar teniendo en cuenta los parámetros individuales. Por ejemplo, se pueden tener en cuenta parámetros como el sexo, la condición física, la edad, las restricciones conocidas de movilidad física (por ejemplo, debido al dolor) o la medicación existente.

Por lo tanto, al estabilizarse, el cuerpo está sujeto a la evaluación de dos tipos de parámetros de influencia. Por un lado, la evaluación se basa en datos de varios sensores y otros transmisores de señales en tiempo real y, por otro lado, la evaluación se basa en los datos de perfil existentes.

Todos los parámetros que influyen pueden desempeñar un papel diferente individualmente, en grupos o todos juntos en las condiciones predefinidas, así como en las estrategias de estabilización correspondientes.

Por lo tanto, el concepto general de la presente invención puede describirse como una jaula de seguridad adaptativa en donde se evita una caída inminente del cuerpo en movimiento mediante intervenciones específicas accionando los actuadores 120 restringiendo el intervalo de movimiento del cuerpo de tal manera que se impide o inhibe un movimiento adicional en la dirección del estado inestable inminente.

Los actuadores se pueden diseñar en dos etapas. Por lo tanto, las articulaciones y el área de la espalda pueden equiparse con estructuras superpuestas con cámaras de estabilizadores magnetofluídicos que se pueden accionar por separado para llevar a cabo una estabilización pasiva dependiente de la situación mediante un endurecimiento situacional preciso. Una segunda etapa permite contrarrestar una caída y enderezar el cuerpo si la estabilización mediante el endurecimiento no es suficiente, por ejemplo, mediante cilindros hidráulicos o neumáticos, accionamientos piezoeléctricos o accionamientos electromagnéticos clásicos.

Por ejemplo, un sistema de suministro de energía distribuido dentro del sistema 100, tal como un sistema de batería, se puede usar para suministrar energía al sistema 100. La distribución del almacenamiento de energía aumenta la comodidad y mejora la estabilidad pasiva en comparación con un suministro de energía central.

El sistema 100 puede comprender además una interfaz de programación de aplicaciones (API - *Application Programming Interface*) a través de la cual se pueden transmitir los datos actuales que describen la inestabilidad inminente, de modo que estos datos se puedan usar para optimizar más adelante los parámetros personalizados. En particular, el efecto de una estabilización que se lleva a cabo puede determinarse y almacenarse y después transmitirse a través de la API a un dispositivo externo que optimiza las condiciones predefinidas y las estrategias de estabilización correspondientes. El sistema 100 de soporte de estabilización dependiente del movimiento se puede incrustar en un tejido inteligente.

En resumen, la presente invención se refiere a un sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento para estabilizar un cuerpo en movimiento, cuyo sistema comprende una pluralidad de sensores y actuadores, así como una unidad de control. La pluralidad de sensores detecta continuamente los parámetros de movimiento del cuerpo, sobre la base de los cuales la unidad de control determina si la inestabilidad del cuerpo es inminente. Si se determina que la inestabilidad es inminente, la unidad de control selecciona una estrategia de estabilización según la cual se accionan los actuadores. Cuando se accionan, los actuadores unidos al cuerpo se endurecen y restringen el intervalo de movimiento del cuerpo, de modo que se evita o suprime el movimiento en la dirección del estado inestable inminente. Esto ayuda a estabilizar el cuerpo e impide una caída inminente.

REIVINDICACIONES

1. Sistema (100) de soporte de estabilización dependiente del movimiento para mantener la estabilidad de un cuerpo en movimiento (200), que comprende:

una pluralidad de sensores (110) diseñados para detectar los parámetros de movimiento del cuerpo (200);
una pluralidad de actuadores (120); y
una unidad (130) de control que está diseñada para detectar si la inestabilidad del cuerpo (200) es inminente basándose en los parámetros de movimiento y un modelo matemático de movimiento,
seleccionar una estrategia de estabilización de entre una pluralidad de estrategias de estabilización predefinidas cuando se detecta que la inestabilidad del cuerpo (200) es inminente y
controlar los actuadores (120) según la estrategia de estabilización seleccionada,
en donde
los actuadores (120) son deformables de manera flexible y se endurecen cuando son accionados por la unidad (130) de control
en donde la unidad (130) de control está diseñada de tal manera que también define una base de soporte usando puntos de contacto de los pies del cuerpo (200) y un plano de postura respectivo del cuerpo (200);
el modelo matemático de movimiento comprende una posición de un centro de masa (CM) del cuerpo (200) con respecto a la base de soporte;
la unidad (130) de control está diseñada para determinar las posiciones de los puntos de referencia predeterminados del modelo matemático de movimiento en función de los parámetros de movimiento del cuerpo recibidos y
detectar la inestabilidad inminente del cuerpo basándose en las trayectorias de los puntos de referencia del modelo matemático de movimiento.

2. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según la reivindicación 1, en donde la unidad de control está diseñada además para ejecutar un proceso de control para terminar el accionamiento de los actuadores para la estabilización en función de los parámetros de movimiento.

3. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según la reivindicación 1 o 2, en donde el modelo matemático de movimiento se basa en la formalización del movimiento de un péndulo invertido simple o de péndulos invertidos dobles.

4. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según la reivindicación 1 o 2, en donde el modelo matemático de movimiento se basa en la formalización del movimiento de un péndulo invertido simple en un resorte o de péndulos invertidos dobles en un resorte.

5. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde
el modelo matemático de movimiento es un modelo matemático extendido del movimiento del cuerpo que modela un sistema muscular del cuerpo humano para personas de diferentes edades mediante un sistema de péndulos invertidos conectados a resortes elásticos.

6. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según la reivindicación 1, en donde la unidad de control

detecta la inestabilidad inminente del cuerpo calculando las posiciones futuras basándose en los cambios entre las posiciones anteriores y actuales de los puntos de referencia en el modelo matemático de movimiento y
reconoce que la inestabilidad del cuerpo es inminente cuando las posiciones futuras cumplen al menos una condición de una pluralidad de condiciones predefinidas.

7. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde cada uno de los sensores comprende una unidad (111) de detección, una unidad (112) de almacenamiento y una unidad (113) de cálculo, en donde

la unidad (111) de detección está diseñada para capturar datos de sensores,
la unidad (112) de almacenamiento está diseñada para almacenar los datos del sensor y
la unidad (113) de cálculo está diseñada para procesar datos de sensores anteriores y actuales y capturar el resultado del procesamiento como parámetros de movimiento del cuerpo.

8. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde

la unidad de control, después de detectar la inestabilidad inminente del cuerpo basándose en los parámetros de movimiento del cuerpo, determina si la inestabilidad del cuerpo persiste o no y controla los actuadores en consecuencia.

9. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde
los actuadores tienen forma de tubo y están llenos de un medio magnéticamente sensible o eléctricamente sensible que se endurece cuando es accionado por la unidad de control.

10. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde

los actuadores contienen un fluido magnetorreológico que se endurece cuando se aplica un campo magnético y
cada uno de los actuadores comprende un generador de campo magnético que, cuando es accionado por la unidad de control, genera un campo magnético para endurecer el fluido magnetorreológico.

11. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde

los sensores son unidades de medición inerciales que detectan aceleraciones o velocidades de rotación como parámetros de movimiento del cuerpo.

12. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde
el cuerpo en movimiento es una persona o un robot humanoide.

13. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según la reivindicación 12, en donde

la pluralidad de sensores está diseñada para unirse al menos a las caderas, los hombros, las manos y la cabeza de la persona o robot humanoide.

14. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según la reivindicación 12 o 13, en donde
la pluralidad de actuadores está diseñada para unirse a la región de las articulaciones y/o el torso de la persona o el robot humanoide, con el fin de restringir el intervalo de movimiento de las articulaciones y/o el torso al endurecerse cuando son accionados por la unidad de control.

15. Sistema de soporte de estabilización dependiente del movimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende además

una pluralidad de segundos actuadores que están diseñados para realizar un movimiento activo cuando son accionados por la unidad de control, en donde
la unidad de control está diseñada además para accionar los segundos actuadores según la estrategia de estabilización seleccionada.

16. Método de soporte de estabilización dependiente del movimiento para mantener la estabilidad de un cuerpo en movimiento, que comprende:

detectar los parámetros de movimiento del cuerpo (200);
usar una pluralidad de sensores (110);
definir una base de soporte a través de una unidad (130) de control;
detectar si la inestabilidad del cuerpo (200) es inminente basándose en los parámetros de movimiento y en un modelo matemático de movimiento;
seleccionar una estrategia de estabilización de entre una pluralidad de estrategias de estabilización predefinidas cuando se detecta que la inestabilidad del cuerpo (200) es inminente; y
endurecer los actuadores deformables de manera flexible (120) según la estrategia de estabilización seleccionada,
caracterizado porque
la base de soporte se define usando los puntos de contacto de los pies del cuerpo (200) y el plano de postura respectivo del cuerpo (200);
el modelo matemático de movimiento incluye la posición del centro de masa (CM) del cuerpo (200) con respecto a la base de soporte;
las posiciones de los puntos de referencia predeterminados en el modelo matemático de movimiento se determinan en función de los parámetros de movimiento del cuerpo (200) detectados por los sensores y

la inestabilidad inminente del cuerpo se modela en tiempo real basándose en las trayectorias de los puntos de referencia del modelo matemático de movimiento
y esta inestabilidad prevista se evita seleccionando una estrategia de estabilización adecuada.

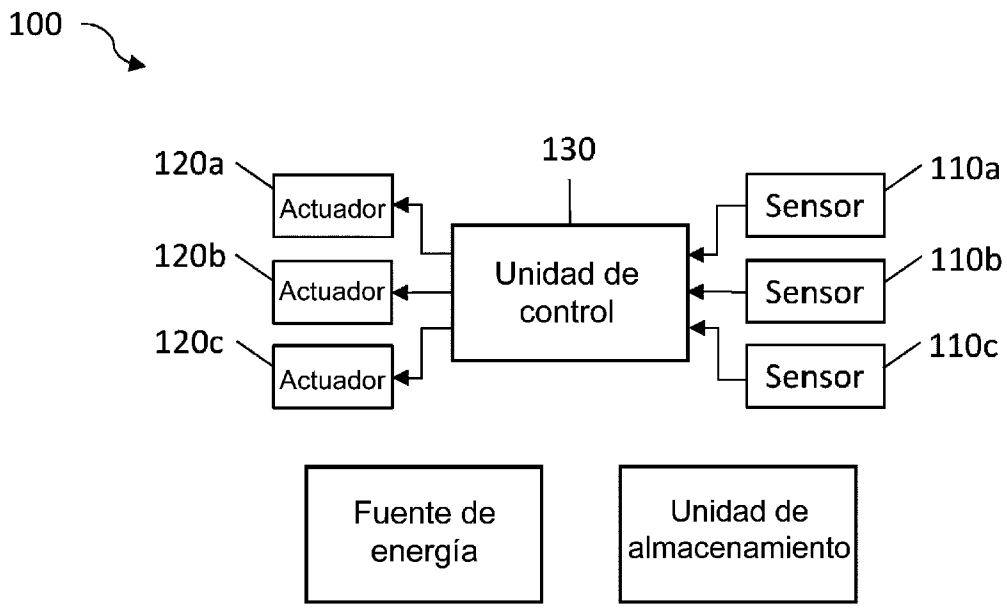

Figura 1

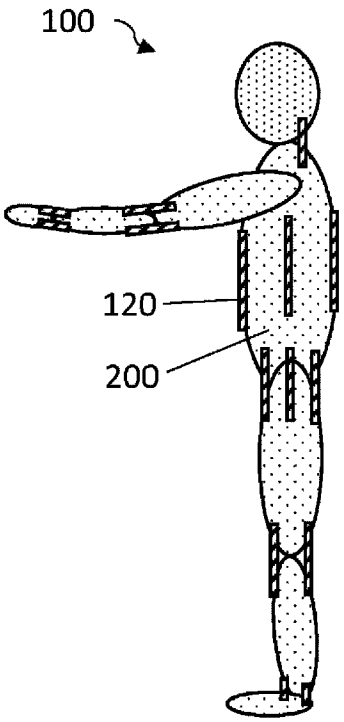

Figura 2

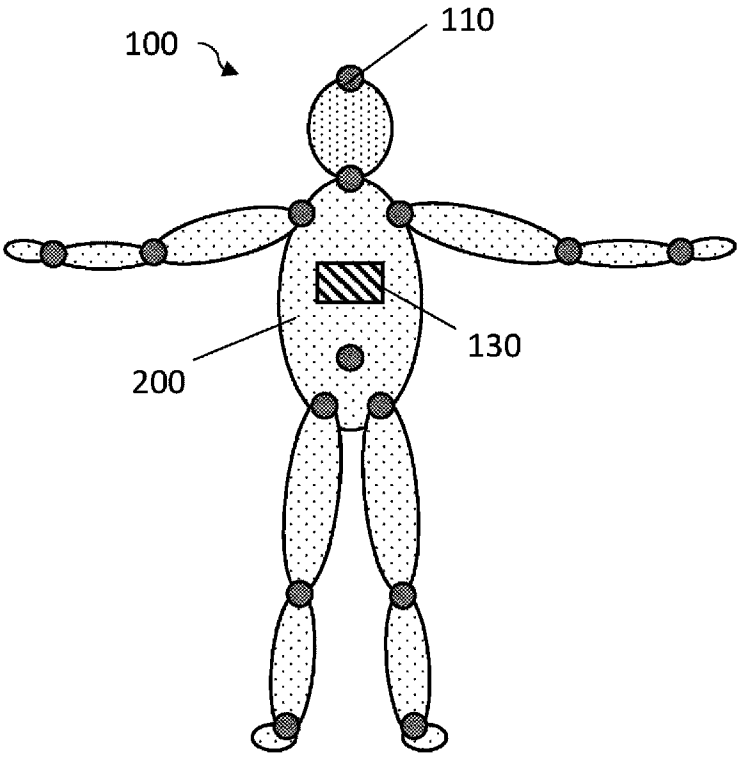

Figura 3

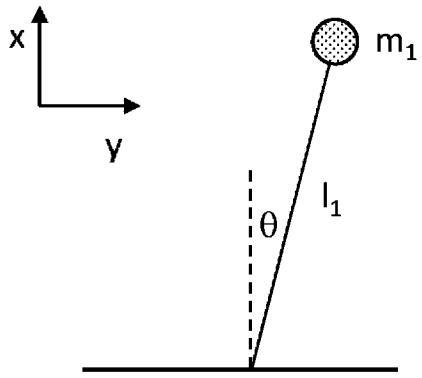

Figura 4A

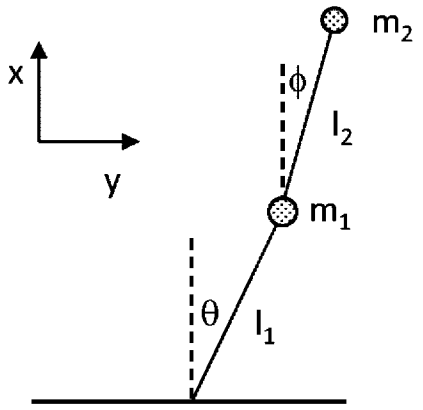

Figura 4B

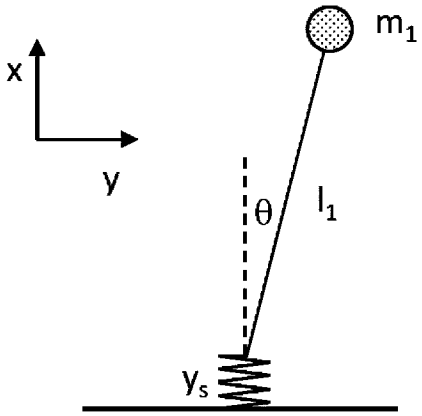

Figura 4C

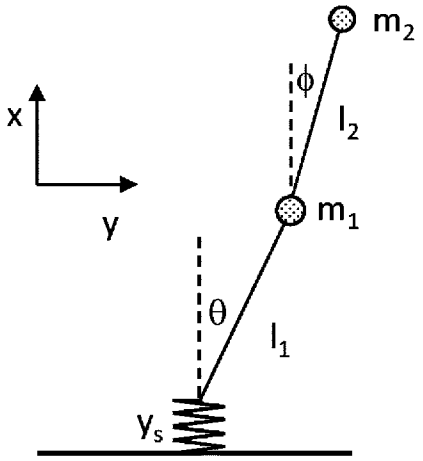

Figura 4D

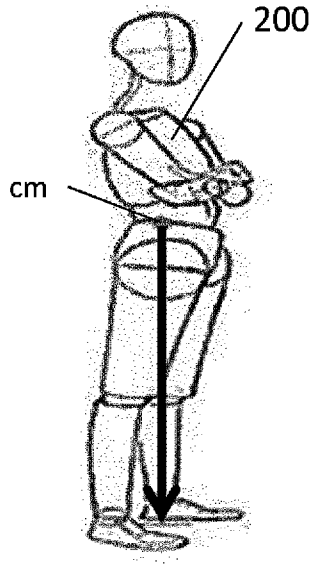

Figura 5A

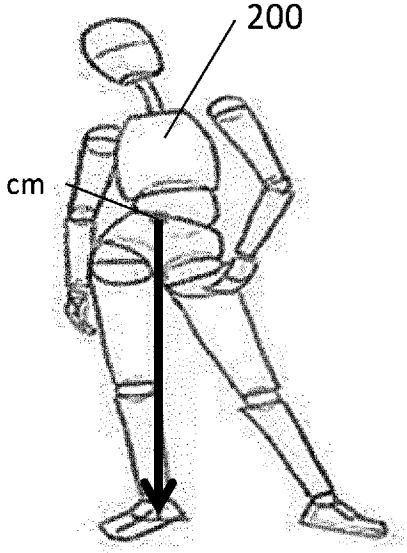

Figura 5B

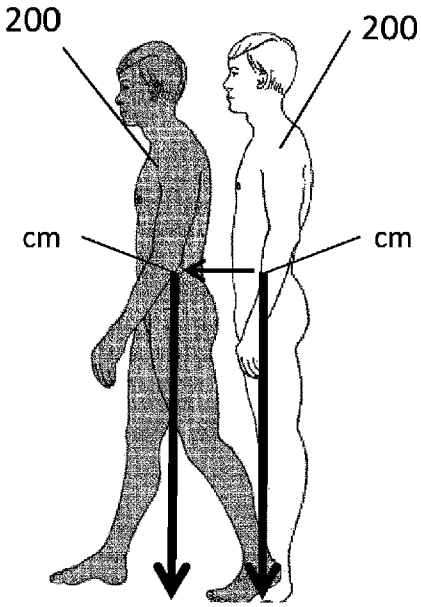

Figura 5C

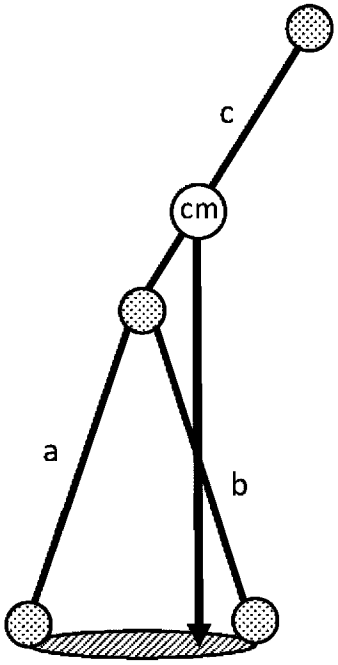

Figura 6A

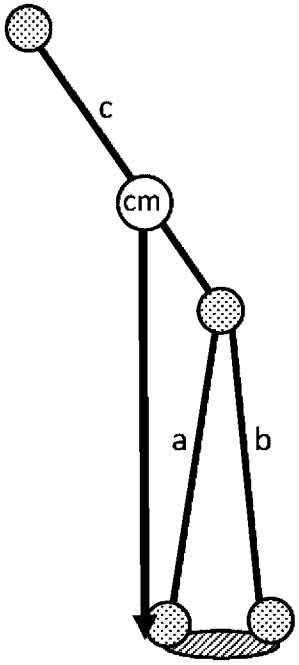

Figura 6B



Figura 7A



Figura 7B



Figura 7C

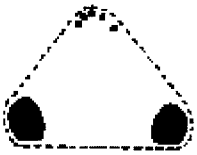

Figura 7D



Figura 7E

$$m_1\ddot{y}_s - m_1 l_1 \ddot{\theta} sin\theta - m_1 l_1 \dot{\theta}^2 cos\theta + m_2\ddot{y}_s - m_2 l_1 \ddot{\theta} sin\theta - m_2 l_1 \dot{\theta}^2 cos\theta - m_2 l_2 \ddot{\phi} sin\phi$$
$$-m_2 l_2 \dot{\phi}^2 cos\phi + m_1 g + m_2 g + k(y_s - y_0) = 0$$

Figura 8

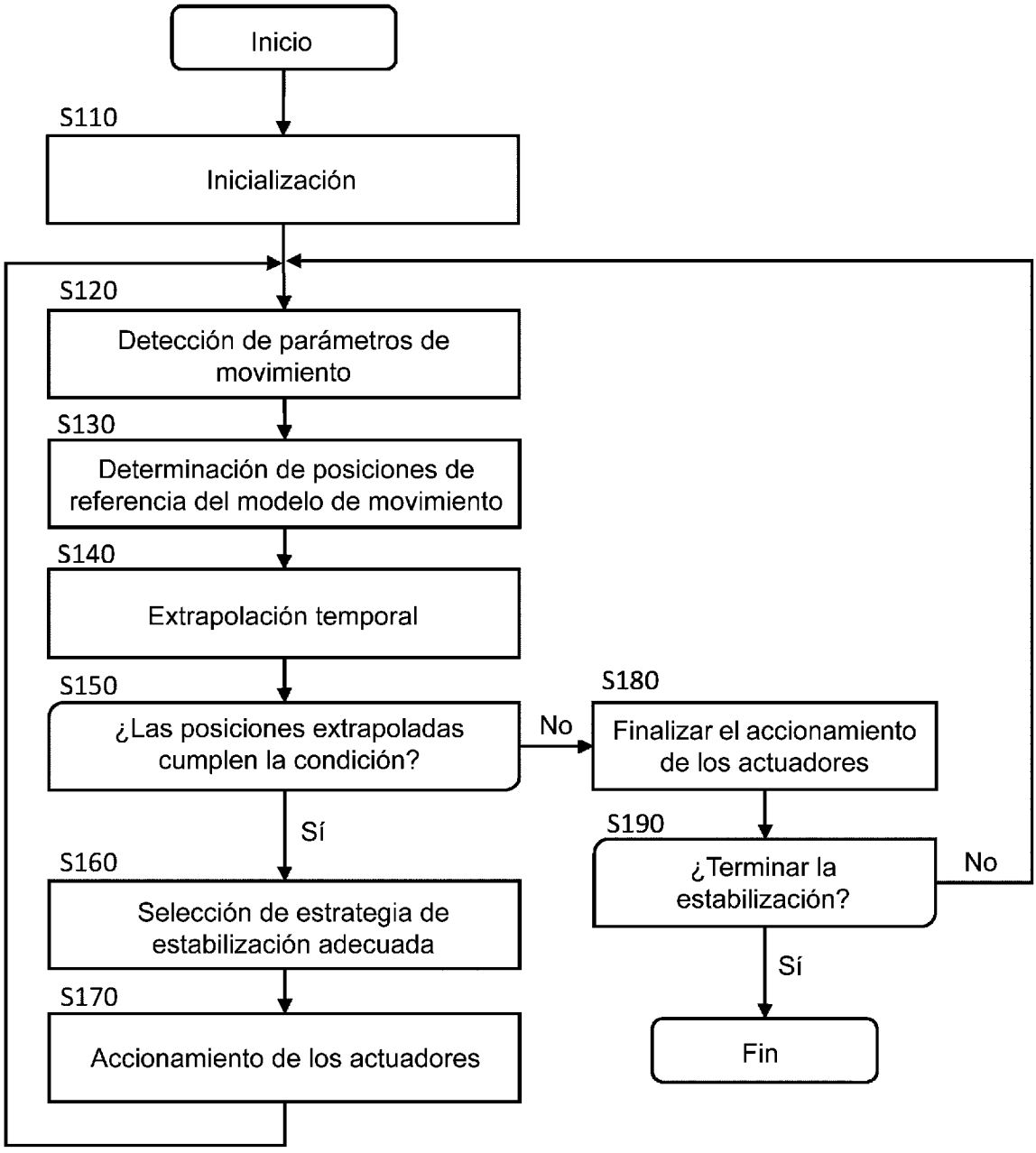
Inicio
S110
Inicialización
S120
Detección de parámetros de movimiento
S130
Determinación de posiciones de referencia del modelo de movimiento
S140
Extrapolación temporal
S150
¿Las posiciones extrapoladas cumplen la condición?
No
S180
Finalizar el accionamiento de los actuadores
S190
¿Terminar la estabilización?
No
Sí
Fin
Sí
S160
Selección de estrategia de estabilización adecuada
S170
Accionamiento de los actuadores

Figura 9

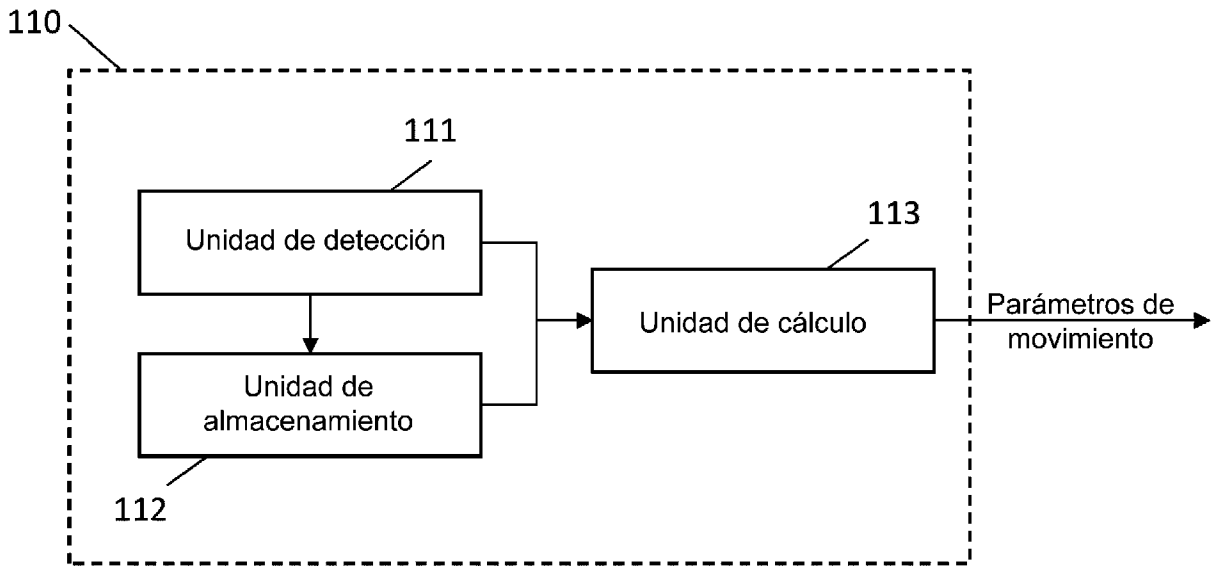

Figura 10

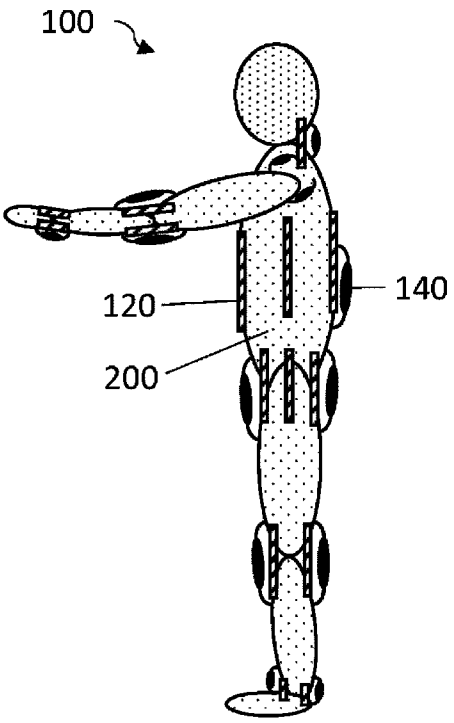

Figura 11