

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 937**

51 Int. Cl.:

A63B 24/00 (2006.01)

A63B 22/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.09.2019 PCT/IB2019/057479**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.03.2020 WO20053711**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.09.2019 E 19778664 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2024 EP 3849675**

54 Título: **Método y sistema integrados para el control dinámico de la velocidad de una cinta de correr**

30 Prioridad:

13.09.2018 IT 201800008558

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

13.11.2024

73 Titular/es:

TECNOBODY S.P.A. (100.0%)

Via Lodi, 10

24044 Dalmine (BG), IT

72 Inventor/es:

MARCANDELLI, STEFANO;

CARMINATI, ALESSANDRO;

BELOTTI, IVAN;

PIRANI, RUDI y

PIZZOLANTE, ADRIANO

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 986 937 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 integrados para el control dinámico de la velocidad de una cinta de correr

5 La presente invención se refiere a un método integrado y a un sistema integrado para el control dinámico de la velocidad de una cinta de correr para hacer ejercicio.

10 La producción de la primera máquina en forma de cinta de correr se llevó a cabo hace más de 50 años. A pesar de ello, según todos los expertos en la materia, incluso hoy en día sigue perdurando lo que equivale a su principal limitación, concretamente el mantenimiento de una velocidad fija. Esta limitación ha disuadido de usar cintas de correr a personas cuyo trabajo es analizar las capacidades de desplazamiento caminando y corriendo de individuos. Uno de los desafíos más interesantes y revolucionarios de las investigaciones actuales sobre cintas de correr es conseguir la mayor naturalidad posible en los desplazamientos al caminar y correr sobre ellas.

15 En la actualidad, el presente solicitante comercializa una cinta de correr en la que se han integrado una cámara de vídeo de 3D y células de carga, que posibilita la evaluación del movimiento del usuario proporcionando indicadores de espacio-tiempo de la marcha del sujeto con el uso de los dos sensores antes mencionados.

20 De hecho, para los seres humanos, la forma más natural de moverse de un lado a otro es caminar. Los desplazamientos normales caminando raramente se producen a una velocidad estable o constante, sino que consisten en ajustes continuos.

25 Las mejoras que se pueden obtener valiéndose de un sistema para control automático de la velocidad al caminar son bien conocidas actualmente, y, por este motivo, existe en la literatura una amplia gama de sistemas que se esfuerzan por conseguir la finalidad deseada.

30 La mayoría de los sistemas de control conocidos utilizan sensores de infrarrojos, de ultrasonidos o por láser para detectar la posición del usuario y, sobre la base de este dato, acelerar o decelerar la cinta, con la finalidad de mantener una posición preestablecida, tal como, por ejemplo, en los siguientes textos: "An Interactive Treadmill Under a Novel Control Scheme for Simulating Overground Walking by Reducing Anomalous Force", de Jonghyun Kim, Hyung-Soon Park y Diane L. Damiano, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Volumen 20, n.º 3, junio de 2015; y "Making virtual walking real: Perceptual evaluation of a new treadmill control algorithm", de Jan L. Souman, Paolo Robuffo Giordano, Ilja Frissen, Alessandro De Luca y Marc O. Ernst (en *ACM Transactions on Applied Perception*, Volumen 7, n.º 2, febrero de 2010).

35 Algunos estudios se valen, en cambio, de información procedente de sensores de fuerza dispuestos por debajo de la cinta en un esfuerzo por estimar la velocidad de esta última, tal como, por ejemplo, en la patente n.º US9526451 o en el texto "An intelligent treadmill system for running training: control of belt speed and biofeedback", de Akinori Nagano, Shoichi Kato, Kazutaka Iwao y Zhi-wei Luo, *31st International Conference on Biomechanics in Sports* [31.ª Conferencia internacional sobre biomecánica en el deporte] (2013), así como en el texto "An adaptive treadmill-style locomotion interface and its application in 3-D interactive virtual market system", de Haiwei Dong, Zhiwei Luo, Akinori Nagano y Nikolaos Mavridis, *Intelligent Service Robotics* (julio de 2012), mientras que, sin embargo, otros investigadores han utilizado sensores inerciales aplicados a los brazos o piernas del sujeto con el fin de procurar llevar la medición a la velocidad real del cuerpo, tal como, por ejemplo, en el texto "Ambulatory running speed estimation using an inertial sensor", Shuozhi Yang, Chris Mohr y Qingguo Li, *Gait & posture* (julio de 2011).

40 Otros estudios utilizan, en cambio, de información detectada por una cámara de vídeo de 3D. Por ejemplo, es posible utilizar un algoritmo de aprendizaje de máquinas para predecir la velocidad a la que una persona desea moverse partiendo de su postura y de la posición de sus extremidades, tal como, por ejemplo, en el documento n.º CN108114405.

45 Desafortunadamente, la totalidad de los métodos antes citados se ven sujetos a ciertos problemas que hacen que su uso a gran escala resulte problemático o incluso imposible, sobre todo por motivos de seguridad.

55 Analizando los sistemas que utilizan sensores inerciales, resulta evidente de manera inmediata que la deducción de la velocidad del usuario a partir de la velocidad de una extremidad es una práctica que es demasiado aproximada para poder construir un sistema fiable y seguro, lo cual se debe tanto a la subjetividad del movimiento medido como a la ausencia de retroalimentación, que convierte al sistema de control en un sistema de bucle abierto.

60 Los sistemas que utilizan sensores de fuerza dispuestos por debajo de la cinta son perfectamente válidos para predecir la velocidad a la que el usuario desea moverse; desafortunadamente, también padecen la ausencia de una retroalimentación sobre la cual cerrar el bucle de control. Por otra parte, la estimación de la velocidad partiendo de la fuerza padece el problema de la deriva, provocado por las operaciones de integración que es necesario llevar a cabo.

65

Los sistemas que se basan en el uso de sensores capaces de detectar la distancia de un cuerpo son, en cambio, muy estables. De hecho, hacen que resulte posible disponer de una retroalimentación de posición para su comparación con un valor preestablecido (por ejemplo, el centro de la cinta), calculando de este modo un error que debe minimizarse variando la velocidad fijada para la cinta. No obstante, este método presenta también limitaciones notables por lo que respecta a conseguir un desplazamiento natural al caminar: de hecho, no puede establecer con la inmediatez necesaria la intención de aceleración por parte del usuario. El hecho de disponer, como única retroalimentación, de la posición del usuario significa tener que intervenir sobre la velocidad solamente cuando el cuerpo del sujeto se haya desplazado efectivamente en el espacio, siendo necesario hacer frente a un compromiso entre la longitud necesaria para que la cinta permita al sujeto acelerar de manera segura y la aceleración que se desea fijar en la cinta para seguir las intenciones del sujeto. Para conseguir que la variación de velocidad del usuario sea natural, el sistema de control debe procurar una estimación lo más rápida posible de la intención del sujeto. La finalidad es no intervenir demasiado bruscamente sobre la aceleración de la cinta, lo cual, de otro modo, provocaría una sensación negativa en la persona, además de implicar problemas de seguridad. Sería posible considerar la limitación de la aceleración máxima de la cinta, pero esto provocaría la necesidad de alargar la superficie de paso de la cinta de correr más allá de valores razonables comercialmente aceptables.

La finalidad de la presente invención es proporcionar un método integrado para el control dinámico de la velocidad de una cinta de correr que supere los inconvenientes de la técnica anterior.

Otra finalidad de la presente invención es proporcionar un método que posibilite que el usuario reproduzca su desplazamiento normal al caminar sobre la cinta de correr.

Según la presente invención, dichas finalidades y otras más se alcanzan con un método integrado para el control dinámico de la velocidad de una cinta de correr según las reivindicaciones adjuntas.

En las reivindicaciones dependientes, se describen otras características de la invención.

Las ventajas de esta solución en comparación con las soluciones de la técnica anterior son numerosas.

El sistema de control según la presente invención puede conseguir resultados excelentes tanto con respecto a la experiencia del usuario como con respecto a la seguridad. Logra estimar la velocidad del sujeto usando parámetros provenientes de una cámara de vídeo 3D que debe poder reconocer el cuerpo humano y estimar la posición de cada articulación de la persona en cada instante, en combinación con un sensor de fuerza y, usando un algoritmo de fusión construido expresamente, para aprovechar las ventajas de ambos, obteniendo una estimación de la velocidad que es muy rápida gracias a los datos de las fuerzas y muy precisa gracias a la compensación ofrecida por la posición.

Una cinta de correr según la presente invención, equipada con un sistema de control, que puede adaptar dinámicamente la velocidad de la cinta sobre la base de la velocidad del usuario, y puede poner solución a los problemas que se describen más adelante.

En las cintas de correr provistas de un sistema para la evaluación de movimientos, el único método para definir la velocidad que resulte más adecuada para el usuario es el empírico. De hecho, cuando se requiere que un sujeto bajo tratamiento neurológico/ortopédico camine sobre la cinta de correr para valorar su estado, no es posible conocer anticipadamente la velocidad más adecuada a la que puede caminar, sino que se deben efectuar pruebas antes de hallar la velocidad correcta, con el consiguiente riesgo para la seguridad del propio sujeto. Por otra parte, durante la fase de rehabilitación, la velocidad del sujeto está evolucionando continuamente y el sistema de control posibilita una adaptación a esta velocidad variable.

Normalmente, no es posible usar cintas de correr para efectuar pruebas de rendimiento. La cinta de correr es incapaz de adaptar su velocidad de una manera natural, pero esto solo se puede obtener mediante interacción entre usuario y máquina.

En los casos en los que el usuario de la cinta de correr no puede aguantar durante un tiempo prolongado el esfuerzo debido a un desplazamiento caminando, surge la necesidad de una reinicialización manual continua de la velocidad.

En las cintas de correr provistas de realidad virtual, la experiencia del usuario no es totalmente inmersiva. La necesidad de variar la velocidad interaccionando con la cinta de correr constituye una distracción para el usuario.

Por otra parte, todos los sistemas cuyo funcionamiento se basa en los datos procedentes de un único tipo de sensor y, por tanto, de una única magnitud física para el control de la velocidad de la cinta, presentan un nivel de precisión y fiabilidad menor en comparación con un método que se vale del uso de diferentes sensores que detectan dos o más magnitudes físicas diferentes.

Las características y ventajas de la presente invención se pondrán claramente de manifiesto a partir de la

consiguiente descripción detallada de una forma de realización práctica de la misma, ilustrada a título de ejemplo no limitativo en los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema integrado para el control dinámico de la velocidad de una cinta de correr, según la presente invención;

La figura 2 muestra una primera forma de realización de una cinta de correr, según la presente invención;

La figura 3 muestra una segunda forma de realización de una cinta de correr, según la presente invención;

La figura 4 muestra una tercera forma de realización de una cinta de correr, según la presente invención;

La figura 5 muestra un diagrama de bloques en relación con el cálculo de las velocidades V1, V2 y V3, según la presente invención;

La figura 6 muestra un gráfico de las mediciones realizadas por el sistema en relación con un usuario que, a partir de un estado parado sobre la cinta de correr, da el primer paso, según la presente invención.

En referencia a las figuras adjuntas, un sistema integrado para el control dinámico de la velocidad de una cinta de correr según la presente invención comprende: una cinta de correr 10 que tiene una cinta 11 que gira alrededor de dos rodillos 12; un codificador 12a para detectar la velocidad de dichos rodillos; una cámara de vídeo de 3D 13 colocada en la parte frontal de la cinta de correr 10, que filma cualquier objeto dentro de una cobertura 13a y en particular al usuario 14; un visualizador 15; por lo menos un sensor 16 para detectar fuerzas horizontales aplicadas sobre la cinta 11, es decir, fuerzas aplicadas a lo largo del mismo eje longitudinal de la cinta 11; un sistema 17 para la adquisición de las mediciones realizadas por el sensor 16; un sistema 18 para la adquisición de los datos procedentes de la cámara de vídeo 13, que puede reconocer el cuerpo humano y estimar la posición de las articulaciones del cuerpo en el espacio y, por otra parte, determina el centro de masas COM de un usuario 14; y una unidad de procesado de datos 19, que recibe las señales de los sistemas 17 y 18 y controla un motor 20 que mueve la cinta 11, por ejemplo haciendo rotar uno de los dos rodillos 12.

Preferentemente, la cámara de vídeo de 3D 13 está dispuesta en la parte frontal de la cinta de correr 10, pero puede situarse en otras posiciones que, de cualquier manera, hagan posible filmar el cuerpo del usuario 14 enteramente.

El sensor 16 y el sistema 17 para la adquisición de la fuerza horizontal pueden detectar de manera directa o indirecta las componentes horizontales de las fuerzas (por tanto las componentes paralelas a la superficie de paso de la cinta 11) aplicadas por el usuario 14. Para su funcionamiento, dicho sistema requiere uno o más sensores 16, que pueden usar las tecnologías más dispares.

Es posible utilizar: células de carga (ya sean uniaxiales, biaxiales o triaxiales); transductores de fuerza (del tipo galga extensiométrica, de tipo piezoeléctrico, de tipo óptico o de tipo de fibra óptica); acelerómetros (acelerómetros mecánicos, acelerómetros de silicio); plataformas inerciales (de tipo mecánico o electrónico); torquímetros o transductores de par (del tipo galga extensiométrica o piezoeléctrico); transductores de presión (del tipo piezoeléctrico o mecánico); y en cualquier caso todas las tecnologías que posibilitan una medición directa e indirecta de una componente de fuerza horizontal aplicada sobre una cinta de correr.

Los sensores 16 están conectados a la estructura (o a partes de la estructura) de la cinta de correr.

La cámara de vídeo de 3D 13 puede reconocer el cuerpo humano y estimar la posición de cada una de sus articulaciones en cualquier instante a través de técnicas de seguimiento corporal adaptadas a las necesidades de la presente aplicación, es decir, reconocer un cuerpo humano mientras el mismo se está moviendo sobre una cinta de correr. Un ejemplo de técnica de seguimiento corporal es SDK Kinect, que reconstruye la escena tridimensional a través de una estimación del mapa de profundidades y reconoce el cuerpo humano dentro del área cogida separándolo del fondo, estimando finalmente la posición en el espacio de las articulaciones del cuerpo detectado.

La cámara de vídeo de 3D 13 consiste en una cámara de vídeo de RGB y un sensor de profundidad de rayos infrarrojos, que está constituido por un escáner láser de infrarrojos y una cámara de vídeo sensible a los infrarrojos del láser. Gracias a este sensor, es posible obtener una imagen de vídeo de RGB y una imagen de profundidad. Algunas cámaras de vídeo de 3D que se pueden utilizar en esta aplicación son, por ejemplo: Kinect One (Microsoft, Redmond, EE. UU.), Astra Pro (Orbbec, Troy, EE. UU.), RealSense (Intel, Santa Clara, EE. UU.) y LIPSedge (LIPS, Taipei, Taiwán).

En una primera forma de realización de la presente invención, la cinta de correr 10 comprende un armazón 30, dos rodillos 31 y 32, dispuestos en los extremos del armazón 30, una cinta 33 deslizante en bucle alrededor de los dos rodillos 31 y 32, y una superficie 34 para sustentar la cinta sustentada por unos transductores de fuerza triaxiales 35, que están dispuestos preferentemente en los extremos de la superficie 34 y pueden detectar las componentes de fuerza horizontales (a lo largo del eje L1) desarrolladas por el usuario 14.

Los transductores 35 están dispuestos entre la superficie 34 para sustentar la cinta y el armazón 30; en particular, la superficie 34 se apoya sobre el armazón 30, mediante los transductores 35.

La cinta de correr comprende, además, unos medios de soporte 36, que sustentan el armazón 30 sobre el suelo.

5 Los transductores de fuerza triaxiales detectarán las componentes horizontales transmitidas por el contacto físico del usuario 14 con la cinta 33 y, por tanto, con la superficie 34 destinada a sustentar la cinta, que transferirá las fuerzas a los elementos sensibles.

10 Este sistema es eficaz, pero hacia los transductores 35 también se transmite la componente de fuerza horizontal, que se desarrolla debido a fricciones entre la cinta 33 y la superficie 34 destinada a sustentar la cinta, es decir, la fuerza generada por el peso del usuario 14 que es transportado por la cinta 33 sobre una superficie 34 que no está libre en su totalidad de fricciones. Esta fuerza debe considerarse en los cálculos subsiguientes llevados a cabo por la unidad de procesado de datos 19.

15 En una segunda forma de realización de la presente invención, la cinta de correr 10 comprende un armazón 40, dos rodillos 41 y 42, dispuestos en los extremos del armazón 40, de entre los cuales el trasero 41 está conectado mecánicamente a un torquímetro 43, que puede detectar las componentes de fuerza horizontales (a lo largo del eje L1) desarrolladas por el usuario 14, una cinta 44 deslizante en bucle alrededor de los dos rodillos 41 y 43, y una superficie 45 destinada a sustentar la cinta que se apoya sobre el armazón 40.

20 La cinta de correr comprende, además, unos medios de soporte 46 que sustentan el armazón 40 sobre el suelo.

El torquímetro 43 detecta el par aplicado preferentemente sobre el rodillo trasero 41 y, conociendo el radio del rodillo, la unidad de procesado de datos 19 calcula las componentes horizontales desarrolladas por el contacto físico del usuario 14 con la cinta 44.

25 En este caso, hacia el transductor 43 se transmite también la componente de fuerza horizontal generada directamente por las aceleraciones y deceleraciones del propio motor, y la misma debe restarse a continuación en el cálculo realizado por la unidad de procesado de datos 19.

30 En una tercera forma de realización de la presente invención, la cinta de correr 10 está constituida por un armazón 50, dos rodillos 51 y 52, dispuestos en los extremos del armazón 50, una cinta 53 deslizante en bucle alrededor de dos rodillos 51 y 52, y una superficie 54 destinada a sustentar la cinta acoplada al armazón 50.

35 Para obtener esta medición, la cinta de correr 10, a través de su armazón 50, está sustentada por dos patines 55 y 56 que posibilitan que la cinta de correr 10 se traslade a lo largo del eje longitudinal L1.

Entre el armazón 50 y el patín trasero 55 está montada una articulación de rótula 57 con la cual está conectada una biela 58, que está conectada a otra articulación de rótula 59 montada en un transductor 60 fijado al suelo.

40 La biela 58 está constituida, por tanto, por una barra que conecta las dos articulaciones de rótula 57 y 59 montadas en sus extremos.

El transductor 60 detecta las componentes de fuerza horizontales (a lo largo del eje L1) transmitidas por el usuario a la cinta de correr 10 (por tanto no a la cinta 53 o a la superficie 54 destinada a sustentar la cinta).

45 La biela 58 se usa para transmitir únicamente las componentes axiales que actúan sobre ella, por tanto, en este caso, solamente las horizontales, dado que la biela 58 está orientada (con su eje longitudinal) en paralelo al eje L1.

50 La cámara de vídeo 13, por medio del sistema 18, reconoce el cuerpo del usuario 14 y estima las posiciones de las articulaciones del cuerpo y, en particular, determina el centro de masas de un usuario 14, y por tanto determina la posición del usuario sobre la cinta de correr.

55 Según la presente invención, la velocidad del usuario se calcula por medio de los dos sistemas de medición presentes en la cinta de correr, concretamente, una velocidad obtenida a partir del transductor, designada con V1, y una velocidad obtenida a partir de la cámara de vídeo de 3D, designada con V2.

A continuación, las dos velocidades se combinan de forma ponderada para determinar la velocidad V3 que debe tener el motor, que provoca la rotación de la cinta.

60 Para calcular la velocidad V1, es necesario que el transductor de fuerza 16, o más bien 35 o 43 o 60, detecte la componente horizontal de la fuerza propulsora anteroposterior F_{AP} . La unidad de procesado 19, gracias a los datos provenientes del codificador 12a, pone a disposición el valor de la velocidad actual de la cinta y, por tanto, su aceleración (designada con a_{cinta}) y el peso del sujeto (designado con P). Gracias a estos datos, es posible llegar a la aceleración a_{COM} del centro de masas COM del usuario.

65
$$a_{COM} = (F_{AP} + P * a_{cinta})/P$$

A continuación, integrando la aceleración a_{COM} , es posible calcular la velocidad V1.

5 El proceso de cálculo de la velocidad V2, mediante la cámara de vídeo de 3D, se lleva a cabo evaluando la variación, en el tiempo, de la diferencia x_{dif} entre la posición del centro de masas COM del sujeto, designada con x_{COM} , y una posición de referencia sobre la cinta de correr, designada con x_{ref} . El cálculo de x_{COM} se lleva a cabo gracias a la cámara de vídeo de 3D, que puede reconocer el cuerpo humano y estimar las posiciones de las articulaciones del cuerpo. Utilizando estas articulaciones del cuerpo y las tablas antropométricas, que proporcionan las dimensiones estructurales y las dimensiones funcionales de una persona, es posible estimar el centro de masas COM del sujeto que se está moviendo sobre la cinta de correr:

$$x_{COM} = \sum_{n=1}^{14} [jprox_n + (jdist_n - jprox_n) * ATcom_n] * ATmasa_n$$

15 Donde: n es el segmento corporal n-ésimo de los catorce segmentos corporales considerados, es decir, el que se está teniendo en cuenta; $jprox_n$ es la posición de la articulación proximal del segmento corporal n-ésimo; $jdist_n$ es en cambio la posición de la articulación distal correspondiente; $ATcom_n$ es la tabla antropométrica que expresa el centro de masas del segmento corporal n-ésimo; y finalmente $ATmasa_n$ es la tabla antropométrica que expresa la masa del mismo. Los catorce segmentos corporales detectados por la cámara de vídeo son: manos derecha e izquierda, antebrazos derecho e izquierdo, brazos derecho e izquierdo, pies derecho e izquierdo, piernas derecha e izquierda, muslos derecho e izquierdo, torso y cabeza.

20 La fórmula calcula el centro de masas de cada extremidad, considerada como un cuerpo rígido, y lo multiplica por el porcentaje de peso corporal de esa extremidad específica (dado por la tabla antropométrica $ATmasa$). Para entender dónde se ubica el centro de masas de la extremidad, se utilizan las tablas antropométricas, que dan como resultado un valor de entre 0 y 1, donde 0 se corresponde con la ubicación exacta del COM en el punto proximal y 1 se corresponde con la ubicación exacta del COM en el punto distal.

La suma de las aportaciones de todas las extremidades produce la posición del centro de masas del sujeto.

30 El modelo que describe la cinemática entre la cinta de correr y el sujeto se describe en el siguiente sistema, en el que V2 es la contribución de velocidad aportada por la cámara de vídeo y v_{COM} es la velocidad del usuario:

$$\begin{cases} x_{COM}' = v_{COM} - V2 \\ y = x \end{cases}$$

35 La medición que se desea controlar es y, que representa el valor medible de posición del COM del sujeto, mientras que la variación de la posición del COM queda representada por x'_{COM} y viene dada por la diferencia entre la velocidad de la cinta y la velocidad del sujeto (por ejemplo, si v_{COM} y V2 son idénticos, la variación del COM es 0, y el sujeto permanece en la misma posición).

40 Para controlar este sistema y estimar la velocidad a la que se está moviendo el sujeto y, por tanto, la velocidad a la que se va a mover la cinta se puede calcular

$$V2 = k * (x_{COM} - x_{REF})'$$

45 donde k es la ganancia del sistema y $x_{dif} = (x_{COM} - x_{REF})'$ es la variación, en el tiempo, de la diferencia entre la posición del usuario y la posición de referencia. Se ha seleccionado hacer que esta ganancia sea variable para poder ajustar la reactividad del controlador de una manera que dependa de la velocidad y la aceleración a las que se está moviendo el usuario.

50 Específicamente, durante la etapa de frenado, se puede intervenir de una manera que dependa de la velocidad (es decir, que sea directamente proporcional a la velocidad) y, por tanto, se puede intervenir con una k mayor a una velocidad mayor.

55 En cambio, durante la etapa de aceleración, k será inversamente proporcional a la velocidad; es decir, para velocidades mayores, k será menor, mientras que, para velocidades menores, k será mayor.

60 Si el sujeto está acelerando, la ganancia adopta, por ejemplo, el valor de 1.8 para velocidades bajas y un valor que se decreta hasta 1.6 para velocidades altas. La disminución de la ganancia durante la aceleración a alta velocidad tiene la finalidad de aumentar la estabilidad del sujeto, haciendo que el sistema sea menos sensible y posibilitando, por tanto, un movimiento de carrera más estable. En el caso de la deceleración, el valor de la ganancia del controlador varía también en este caso de una manera que depende de la velocidad a la que se está moviendo el usuario. Específicamente, a velocidades bajas, la variación debe producirse con aceleraciones suaves, con una k que, por ejemplo, varíe entre 1.8 y 2 para velocidades de hasta 4 km/h. En cambio, para decelerar a velocidades mayores, será necesaria una reactividad más elevada del control y, por tanto, una k con valores mayores, por ejemplo con un valor de 10 para una velocidad de 20 km/h. A continuación, llegado este

ES 2 986 937 T3

instante, los valores de $V1$ y $V2$ se filtran con un algoritmo de fusión de sensores con el objetivo de calcular el mejor valor de velocidad que se debe aplicar a la cinta.

5 El algoritmo de fusión de sensores se implementa a través de un filtro complementario 70 en el que la medición con mayor ruido $V1$ y la medición con menos ruido $V2$ se filtran según un parámetro dinámico α .

Un filtro complementario es un filtro que tiene la forma general $z=a*x+(1-a)*y$ donde x e y son las dos mediciones ($V1$ y $V2$), z es la salida ($V3$) y a es el peso asignado.

10 El hecho de que el parámetro del filtro sea dinámico hace que resulte posible priorizar el valor $V1$ a velocidades bajas y el valor $V2$ a velocidades altas, obteniéndose de este modo un valor adecuado de velocidad $V3$ durante todas las fases del movimiento.

15 El filtro complementario 70 puede discernir en cada instante (sobre la base de la velocidad a la que se está moviendo el sujeto) la veracidad de las mediciones $V1$ y $V2$ y decidir cómo promediar las dos para obtener un valor $V3$ correcto, usando la fórmula

$$V3(t) = \alpha V3(t - 1) + (1 - \alpha)V2(t) + \alpha V1(t)$$

20 El parámetro α es el peso dinámico que se debe asignar a $V2$ y $V1$ y adopta, por ejemplo, un valor máximo de 0.5 para una velocidad de 0.2 km/h y un valor mínimo de 0.02 para velocidades superiores a 1 km/h; es decir, es inversamente proporcional a la velocidad.

25 Esto hace que resulte posible aprovechar enteramente la información proveniente de los sensores a velocidades bajas y, por tanto, disponer de un poder de predicción muy elevado, mientras que, durante desplazamientos caminando y corriendo, hace que resulte posible usar más el valor procedente de la cámara de vídeo de 3D, que, como se ha descrito anteriormente, suministra una medición mucho más estable (proporcionando, sin embargo, un poder de predicción menor). El valor proveniente de los sensores, para velocidades superiores a 1 km/h, encaja por tanto en menor medida en comparación con el proveniente de la cámara de vídeo de 3D en el cálculo del valor total de la medición, pero un valor de 0.02 es suficiente para que el filtro prediga la intención del sujeto de acelerar o decelerar. Por tanto, el filtro complementario 70 posibilita una estimación de la velocidad final a la que se moverá la cinta partiendo de las dos velocidades $V1$ y $V2$ estimadas por el sensor y la cámara de 3D.

35 No obstante, esta solución no posibilita la estimación del error de $V1$ calculado a partir de la detección realizada por el sensor, a causa de la operación de integración.

El cálculo de la velocidad mediante integración numérica provoca un efecto de deriva de la medición de la velocidad que, incluso si se filtra con precisión, afectará al valor final de $V3$.

40 Para superar este inconveniente y hacer que la medición de $V3$ sea lo más precisa posible, como alternativa al filtro complementario 70, se usa un filtro de Kalman.

45 En este caso, en lugar de tener en la entrada al filtro las velocidades $V1$ y $V2$, se envía directamente a la entrada al filtro de Kalman la fuerza anteroposterior F_{AP} , así como la variación, en el tiempo, de la diferencia entre la posición del centro de masas del sujeto x_{COM} y una posición de referencia sobre la cinta de correr x_{ref} .

50 En particular, el filtro de Kalman es un algoritmo que utiliza una serie de mediciones observadas en el tiempo, que contienen ruido, y produce la estimación de una magnitud de una manera más precisa en comparación con algoritmos que se basan en el uso de una única medición de partida.

En su formulación genérica, el filtro de Kalman viene dado por

$$\begin{cases} \dot{x}_t = Ax_t + Bu_t + rx_t \\ z_t = Cx_t + ry_t \end{cases}$$

55 donde:

$x(t)$ es el estado del sistema;

A , B y C son, respectivamente, la matriz de transición de estado, la matriz de control de entrada y la matriz de observación de mediciones;

60 $u(t)$ es el vector de entrada de control y $z(t)$ es el vector de entrada de mediciones; y

$rx(t)$ y $ry(t)$ son, respectivamente, el ruido de medición y el ruido del proceso.

Específicamente, el algoritmo que implementa el filtro de Kalman adopta la siguiente forma:

$$\begin{cases} v_t = F_t v_{t-1} + B_t f_{ap_t} + w_t \\ x_t - x_{COM_t} = H_t v_t + q_t \end{cases}$$

donde:

- 5 v_t es la velocidad en el tiempo t y que se va a aplicar a la cinta;
 F_t es la matriz de transición que representa, a través de un modelo fisicomatemático, el comportamiento de un sujeto que se mueve sobre una cinta de correr;
 B_t es la matriz de control que vincula la fuerza anteroposterior f_{ap_t} , calculada por el sensor de fuerza longitudinal cuando el usuario está corriendo, con la velocidad que se va a fijar en la cinta de correr;
10 w_t es la matriz que representa la incertidumbre estadística de la medición de la fuerza anteroposterior;
 H_t es la matriz de observación, que vincula la diferencia entre la posición actual del centro de masas del sujeto en el tiempo t x_{COM_t} , calculada con la cámara de vídeo de 3D, y una posición de referencia x_{ref} con la velocidad que se va a fijar en la cinta de correr; y
15 q_t es la incertidumbre estadística de la medición de la posición medida por la cámara de vídeo.

Todos los sensores, la cámara de vídeo y el motor están conectados a la unidad de procesado de datos 19 para su gestión, y asimismo todas las operaciones de procesado son llevadas a cabo por la unidad de procesado de datos 19.

- 20 Se propone, a continuación, un caso práctico para proporcionar una mejor descripción del funcionamiento de este sistema y posibilitar una interpretación más clara de sus ventajas en comparación con métodos actuales de control de velocidad.

- 25 Suponiendo que un usuario esté parado en el centro de la cinta y esté a punto de moverse y caminar, cuando su centro de masas COM se desplaza hacia delante para comenzar a caminar, la aceleración a la que está sometido el COM se detecta en forma de fuerza por parte del sensor. El dato de fuerza se envía a la unidad de procesado, que, mediante el algoritmo de fusión de sensores, es decir, la combinación ponderada entre la diferencia $x_{dif} = x_{COM} - x_{ref}$ y la fuerza anteroposterior F_{AP} , o entre sus derivadas ($V1$, $V2$), calcula una estimación de la velocidad del usuario. La estimación se efectúa excluyendo la componente de fuerza debida a la aceleración de la cinta, ya que
30 esta aceleración altera la medición de la aceleración real del COM y, por tanto, de la intención real de acelerar del sujeto.

- A continuación, el valor estimado de velocidad se envía al motor teniendo en cuenta el hecho de que una aceleración excesivamente brusca de la cinta podría derivar en una marcha del sujeto que se alejase de la considerada natural, pero si fuese demasiado baja podría no ajustarse a la intención del usuario.
35

- Mientras tanto, la cámara de vídeo de 3D ha identificado el desplazamiento del sujeto en el espacio y puede calcular su velocidad real. El valor de la velocidad real se envía a la unidad de procesado, que cierra el bucle de control del algoritmo de fusión de sensores ajustando el valor de velocidad fijado por el sensor de fuerza.
40

- Debe resaltarse que este sistema conlleva un beneficio efectivo tanto en relación con la experiencia de usuario como en relación con la estabilidad. Para obtener una buena experiencia de usuario, es indispensable que la cinta alcance, con la aceleración más baja posible, la velocidad a la que el sujeto pretende caminar, con lo cual se simulan de una manera realista las condiciones naturales de un desplazamiento del usuario caminando sobre el suelo. Para ello, es fundamental que se consiga estimar lo más rápido posible la velocidad a la que desea caminar el usuario; esto hace que resulte posible poner en marcha la cinta primero y a continuación alcanzar la velocidad adecuada reduciendo la aceleración a un mínimo. La figura 5 ilustra la comparación entre la velocidad estimada partiendo de los datos de las células de carga $V1$ y la velocidad estimada partiendo de la posición de las articulaciones del cuerpo detectadas por la cámara de vídeo de 3D $V2$. Como puede observarse, la velocidad $V1$ comienza a tener un valor apreciable antes que la velocidad $V2$, demostrando cómo la información proveniente de las células de carga tiene un valor predictivo. Este comportamiento es debido tanto a una mayor sensibilidad del sensor como a que la posición del COM comienza a moverse antes de que el cuerpo realice un desplazamiento perceptible.
45
50
55

REIVINDICACIONES

1. Método integrado para el control dinámico de la velocidad de una cinta de correr (10)

5 que tiene una cinta (11) que gira alrededor de dos rodillos (12);
un motor (20) que pone en marcha dicha cinta (11); y comprende las siguientes etapas:

determinar la posición del centro de masas (x_{COM}) de un usuario (14) que se mueve sobre dicha cinta (11) por medio de una cámara de vídeo de 3D (13) que consiste en una cámara de RGB y un sensor de profundidad de rayos infrarrojos y puede filmar a dicho usuario enteramente (14);
10 determinar la diferencia (x_{dif}) entre dicha posición del centro de masas (x_{COM}) medida y una posición de referencia preestablecida (x_{ref});
determinar la fuerza horizontal anteroposterior (F_{AP}) de un usuario (14) que se mueve sobre dicha cinta (11);
15 calcular una combinación ponderada entre dicha diferencia (x_{dif}) y dicha fuerza horizontal anteroposterior (F_{AP}), utilizando una unidad de procesamiento de datos (19), para obtener una tercera velocidad ($V3$);
aplicar dicha tercera velocidad ($V3$) a dicha cinta (11) por medio de dicho motor (20); en el que la etapa de cálculo de una combinación ponderada comprende la etapa de aplicación de dicha diferencia (x_{dif}) y dicha fuerza horizontal anteroposterior (F_{AP}) a un filtro de Kalman, representado por la fórmula genérica

$$\begin{cases} \dot{x}_t = Ax_t + Bu_t + rx_t \\ z_t = Cx_t + ry_t \end{cases}$$

donde:

25 $x(t)$ es el estado del sistema;
 A , B y C son, respectivamente, la matriz de transición de estado, la matriz de control de entrada y la matriz de observación de mediciones;
 $u(t)$ es el vector de entrada de control y $z(t)$ es el vector de entrada de mediciones; y
30 $rx(t)$ y $ry(t)$ son, respectivamente, el ruido de medición y el ruido del proceso.

2. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa de cálculo de una combinación ponderada comprende las etapas siguientes:

35 calcular una primera velocidad ($V1$) de dicho usuario (14) sobre la base de dicha fuerza horizontal anteroposterior (F_{AP});
calcular una segunda velocidad ($V2$) de dicho usuario (14) sobre la base de dicha diferencia (x_{COM});
procesar dicha primera velocidad ($V1$) y dicha segunda velocidad ($V2$) por medio de un filtro complementario (70) para obtener dicha tercera velocidad ($V3$).

40 3. Método según la reivindicación 2, caracterizado por que dicho filtro complementario (70) está representado por la fórmula:

$$V3(t) = \alpha V3(t - 1) + (1 - \alpha)V2(t) + \alpha V1(t)$$

45 donde:

α es el peso que se debe asignar;
 $V1$ es dicha primera velocidad;
50 $V2$ es dicha segunda velocidad.

4. Sistema integrado para el control dinámico de la velocidad de una cinta de correr (10) que comprende:

una cinta de correr (10) que tiene una cinta (11) que gira alrededor de dos rodillos (12);
un motor (20) que pone en marcha dicha cinta (11);
55 por lo menos un sensor (16), que puede medir la fuerza horizontal anteroposterior (F_{AP}) de un usuario (14) que se mueve sobre dicha cinta (11);
una cámara de vídeo de 3D (13), que puede filmar a dicho usuario (14) enteramente y determinar la posición del centro de masas (x_{COM}) de dicho usuario (14) que se mueve sobre dicha cinta (11);
una unidad de procesamiento de datos (19) para calcular la diferencia (x_{dif}) entre dicha posición del centro de masas (x_{COM}) medida y una posición de referencia preestablecida (x_{ref}), y para calcular una combinación ponderada
60 entre dicha diferencia (x_{dif}) y dicha fuerza horizontal anteroposterior (F_{AP}), con el fin de obtener una tercera velocidad ($V3$) que se debe aplicar a dicho motor (20);
dicha unidad de procesamiento de datos (19) aplica un filtro de Kalman a dicha diferencia (x_{dif}) y a dicha fuerza horizontal anteroposterior (F_{AP}); en el que dicho filtro de Kalman está representado por la fórmula genérica

65

$$\begin{cases} \dot{x}_t = Ax_t + Bu_t + rx_t \\ z_t = Cx_t + ry_t \end{cases}$$

donde:

5 $x(t)$ es el estado del sistema;
 A, B y C son, respectivamente, la matriz de transición de estado, la matriz de control de entrada y la matriz
 de observación de mediciones;
 $u(t)$ es el vector de entrada de control y $z(t)$ es el vector de entrada de mediciones; y
 10 $rx(t)$ y $ry(t)$ son, respectivamente, el ruido de medición y el ruido del proceso. [c3]

15 5. Sistema según la reivindicación 4, caracterizado por que dicha unidad de procesamiento de datos (19) calcula una
 primera velocidad (V1) de dicho usuario (14) sobre la base de dicha fuerza horizontal anteroposterior (F_{AP}); calcula
 una segunda velocidad (V2) de dicho usuario (14) sobre la base de dicha diferencia (x_{dif}); y aplica un filtro
 complementario (70) a dicha primera velocidad (V1) y a dicha segunda velocidad (V2) para obtener dicha tercera
 velocidad (V3).

20 6. Sistema según la reivindicación 4, caracterizado por que dicho por lo menos un sensor (16) comprende unos
 transductores de fuerza triaxiales (35), dispuestos en los extremos de la superficie (34) destinada a sustentar dicha
 cinta (11).

25 7. Sistema según la reivindicación 4, caracterizado por que dicho por lo menos un sensor (16) comprende un
 torquímetro (43) conectado mecánicamente a un rodillo (41) de dicha cinta (11).

30 8. Sistema según la reivindicación 4, caracterizado por que dicha cinta de correr (10) comprende un armazón
 (50), dos rodillos (51, 52), dispuestos en los extremos de dicho armazón (50), y una cinta (53) deslizante en bucle
 alrededor dos rodillos (51, 52); dicho armazón (50) está sustentado por dos patines (55, 56); entre dicho armazón
 (50) y un patín (55) está dispuesta una articulación de rótula (57) a la cual está conectada una biela (58) que está
 conectada a otra articulación de rótula (59) dispuesta en un transductor (60) fijado al suelo, con el fin de detectar
 las componentes de fuerza horizontales transmitidas por el usuario (14) a la cinta de correr (10).

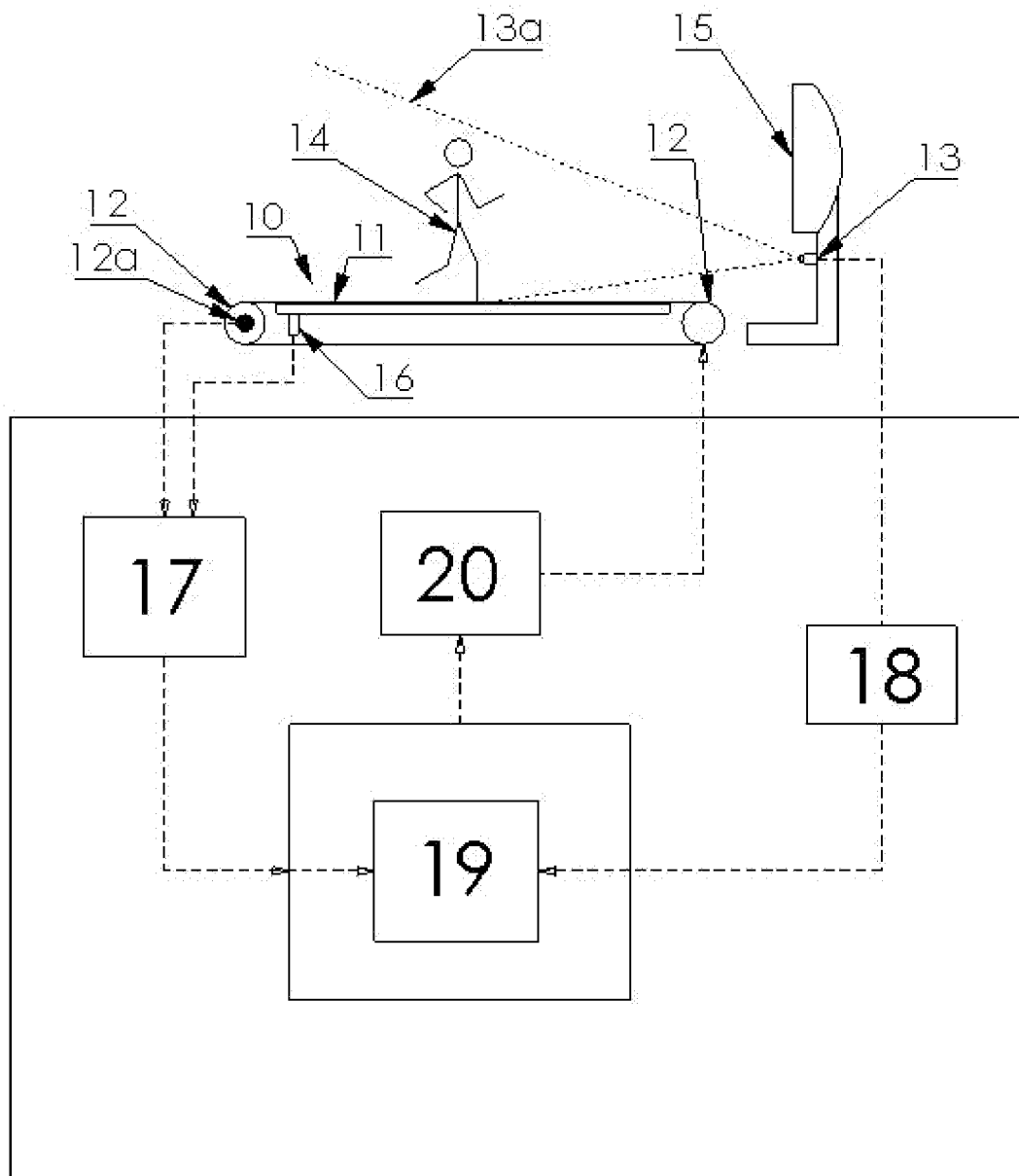
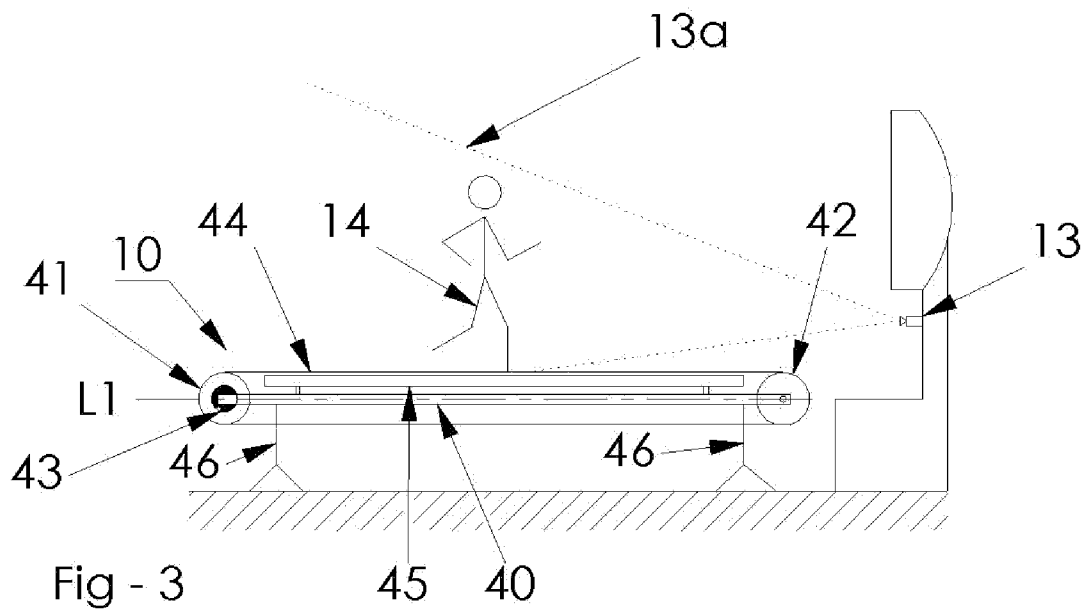
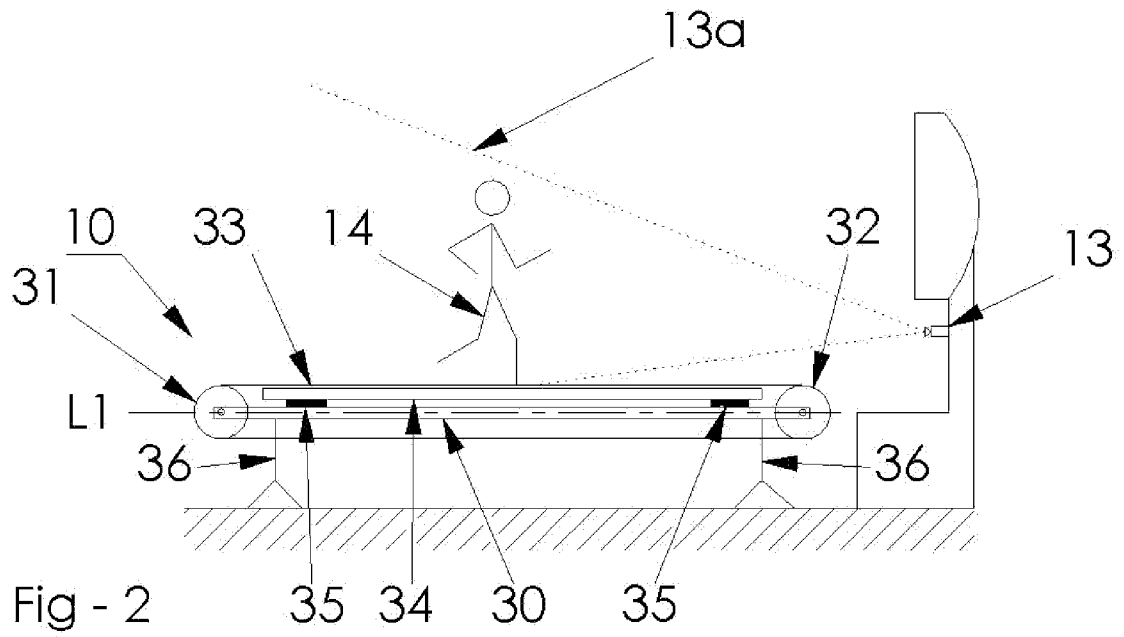
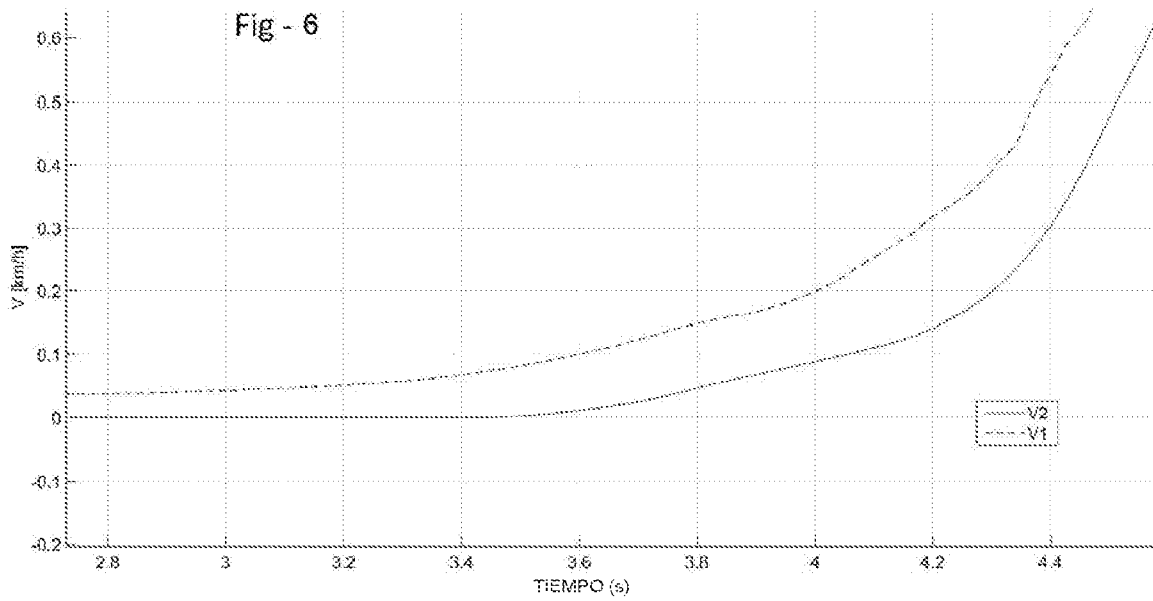
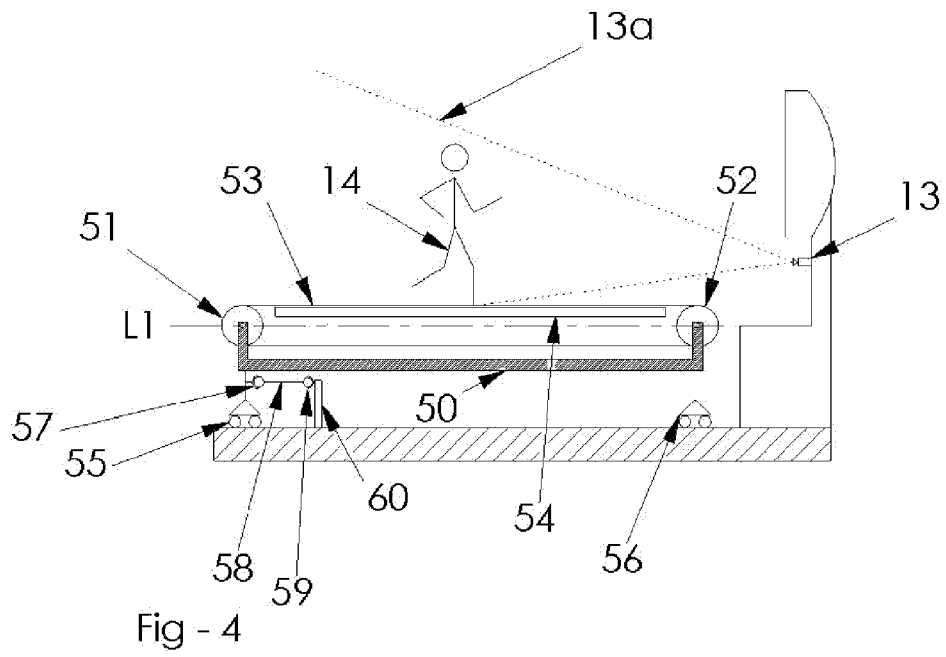


Fig - 1





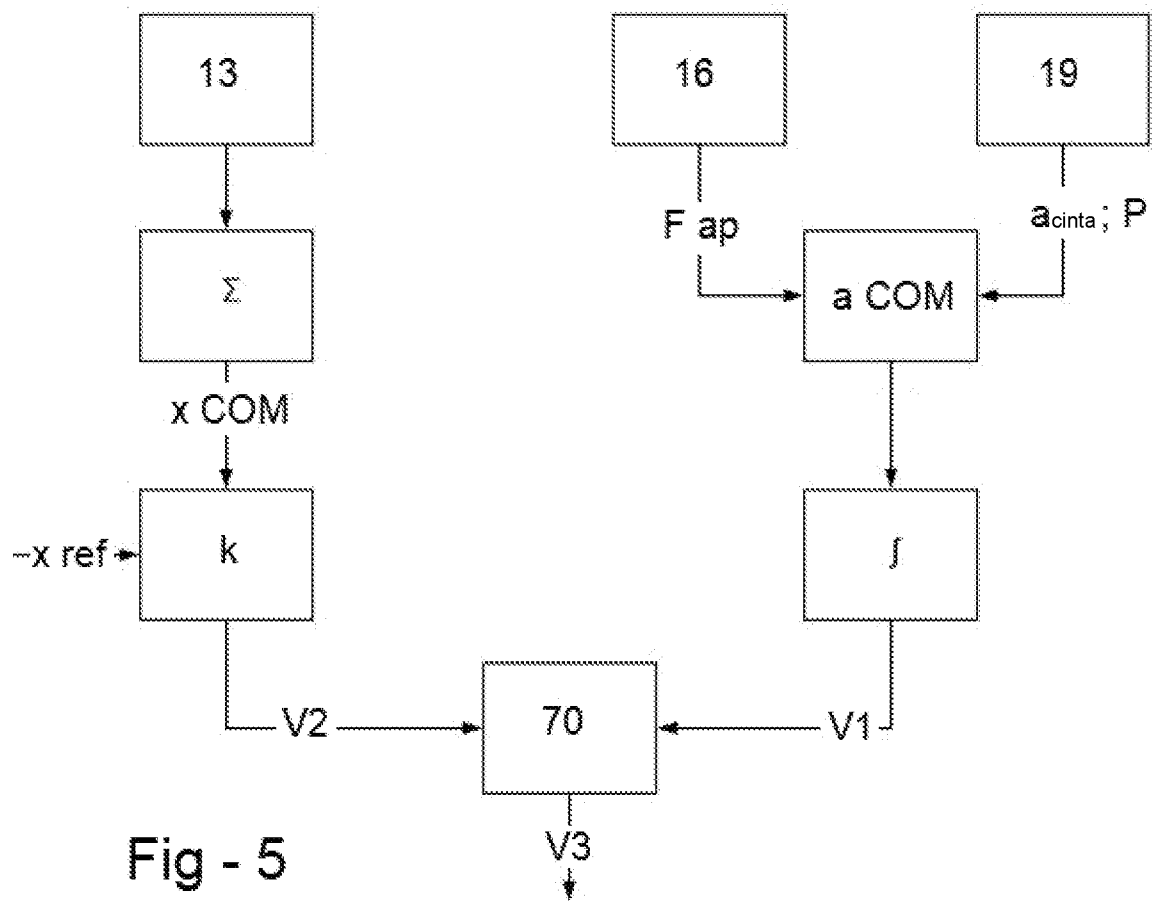


Fig - 5