

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 373 671**

51 Int. Cl.:  
**A63C 17/12** (2006.01)  
**B60L 11/18** (2006.01)  
**B60L 15/20** (2006.01)  
**B62K 3/00** (2006.01)  
**B62K 17/00** (2006.01)  
**B62M 23/02** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05800866 .5**  
96 Fecha de presentación: **13.09.2005**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1791609**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.06.2007**

54 Título: **CONTROL DE UN TRANSPORTADOR PERSONAL BASADO EN LA POSICIÓN DEL USUARIO.**

30 Prioridad:  
**13.09.2004 US 939955**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**07.02.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**07.02.2012**

73 Titular/es:  
**DEKA PRODUCTS LIMITED PARTNERSHIP  
340 COMMERCIAL STREET  
MANCHESTER, NH 03101-1108, US**

72 Inventor/es:  
**KAMEN, Dean;  
AMBROGI, Robert, R.;  
DATTOLO, James, J.;  
DUGGAN, Robert, J.;  
FIELD, Douglas, J.;  
HEINZMANN, Richard Kurt;  
MCCAMBRIDGE, Matthew, M.;  
MORRELL, John, B.;  
PIEDMONTE, Michael, D. y  
ROSASCO, Richard, J.**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

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).

ES 2 373 671 T3

**DESCRIPCIÓN**

Control de un transportador personal basado en la posición del usuario

**Campo de la invención**

5 La presente invención versa acerca de un control de transportadores personales, y más en particular, acerca de dispositivos y procedimientos para proporcionar una entrada del usuario con respecto ya sea a un control direccional o de velocidad (que tiene cualquier número de elementos de contacto con el suelo) en base a la posición u orientación de un usuario.

**Antecedentes**

10 Los transportadores estabilizados de forma dinámica hacen referencia a transportadores personales que tienen un sistema de control que mantiene de forma activa la estabilidad del transportador mientras que el transportador está funcionando. El sistema de control mantiene la estabilidad del transportador al detectar de forma continua la orientación del transportador, determinando la acción correctiva para mantener la estabilidad, y ordenar que los motores de las ruedas que efectúen la acción correctiva.

15 Para vehículos que mantienen un área de presión del neumático estable, el acoplamiento entre el control de la dirección, por una parte, y el control del movimiento hacia delante de los vehículos no es un tema de preocupación dado que, bajo condiciones típicas de la carretera, se mantiene la estabilidad gracias a que las ruedas están en contacto con el suelo durante todo el curso de un giro. El acoplamiento entre los mecanismos de control de la dirección y de equilibrio es un objeto de la patente U.S. nº 6.789.640. Las entradas direccionales que proporcionan, de forma ventajosa, una integración intuitiva y natural de control humano con los requerimientos de la dirección de un vehículo de equilibrio son el objeto de la presente invención.

20 El documento US 2004/07399 describe un transportador personal con una empuñadura de dirección que anima a un conductor a inclinarse en la dirección de un giro, según el preámbulo de la reivindicación 1.

**Resumen de la invención**

En un aspecto, se proporciona un controlador según la reivindicación 1.

25 Según las realizaciones preferentes de la presente invención, se proporciona un controlador que puede ser empleado para proporcionar la entrada de un usuario de una dirección deseada de movimiento u orientación para un transportador. El controlador tiene una entrada para recibir la especificación por parte de un usuario de un valor en base a la orientación detectada del cuerpo del usuario.

30 La entrada especificada por el usuario puede ser comunicada por el usuario utilizando cualquiera de una amplia variedad de modalidades de entrada, incluyendo: detección ultrasónica de la posición del cuerpo, detección de la fuerza ejercida por el pie; inclinación del manillar; manillar activo; detección mecánica de la posición del cuerpo; y entrada direccional de deslizamiento lineal.

35 En aquellas realizaciones de la invención en las que el transportador tiene capacidad para una operación equilibrada sobre uno o más elementos de contacto con el suelo, se proporciona una entrada para recibir una especificación por parte del usuario de una dirección deseada del movimiento, o un valor deseado de velocidad en base a una orientación detectada del cuerpo del usuario. Un procesador genera una señal de instrucción en base al menos a la dirección especificada por el usuario y el valor de velocidad junto con una señal de instrucción del cabeceo que está basada en un error de cabeceo de tal forma que se mantiene el equilibrio del transportador en el curso de conseguir la dirección y la velocidad especificadas.

40 En diversas otras realizaciones de la invención, el controlador tiene un sumador para diferenciar un valor de guiñada instantánea del valor especificado por el usuario de la guiñada para generar un valor de error de la guiñada, de forma que la señal de instrucción de la guiñada generada por el procesador está basada al menos en parte en el valor de error de la guiñada. La entrada para recibir la especificación del usuario puede incluir un sensor de presión dispuesto para detectar la orientación del usuario, un sensor ultrasónico dispuesto para detectar la orientación del usuario, o un sensor de fuerza dispuesto sobre una plataforma que soporta al usuario para detectar la distribución de pesos del usuario. En otras realizaciones más, la entrada para recibir la especificación del usuario incluye un eje dispuesto en un plano transversal a un eje que caracteriza la rotación de las dos ruedas dispuestas de forma lateral, la dirección deseada y la velocidad especificada en base a la orientación del eje.

50 Según realizaciones adicionales de la invención, el transportador de equilibrio puede incluir un manillar, y el controlador puede tener, además, un pivote motorizado para colocar el manillar en base al menos a uno de una aceleración lateral y el ángulo de balanceo del transportador. En particular, el controlador puede tener un bucle de posición para ordenar una posición del manillar sustancialmente proporcional a la diferencia en el cuadrado de la velocidad de una primera rueda y el cuadrado de la velocidad de una segunda rueda.

Según otras realizaciones más de la invención, se proporciona un aparato para advertir a un conductor a colocarse sobre un vehículo de tal forma como para reducir la inestabilidad lateral debida a una aceleración lateral del vehículo. El aparato tiene una entrada para recibir la especificación por parte del conductor de una dirección deseada de desplazamiento y un medio de indicación para indicar al conductor una orientación instantánea deseada del cuerpo en base al menos a la aceleración lateral actual del vehículo. El medio de indicación puede incluir un manillar pivotable con respecto al vehículo, el manillar accionado en respuesta al giro del vehículo.

**Breve descripción de los dibujos**

Las anteriores características de la invención serán comprendidas más fácilmente con referencia a la siguiente descripción detallada, tomada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 10 La Fig. 1 muestra un transportador personal, como se describe en detalle en la patente U.S. nº 6.302.230, al que puede aplicarse de forma ventajosa la presente invención;
- la Fig. 2 muestra un diagrama de bloques que muestra las entradas y salidas que constituyen una instrucción de guiñada en una arquitectura de un sistema al que puede aplicarse de forma ventajosa la presente invención;
- 15 la Fig. 3A es una vista despiezada de componentes de un mecanismo de control de la guiñada que muestra una empuñadura de control de la guiñada acoplada a una interfaz del usuario de un transportador personal, según una realización de la presente invención;
- la Fig. 3B muestra una vista despiezada detallada de la empuñadura de control de la guiñada de la Fig. 3A;
- la Fig. 3C muestra el sensor integral de control de la guiñada del mecanismo de control de la guiñada de la Fig. 3A;
- 20 la Fig. 4 muestra un diagrama esquemático de bloques de un sistema de control de retroalimentación de la guiñada según realizaciones de la presente invención;
- la Fig. 5A es una vista esquemática en planta de un conductor en posiciones que indican una colocación completamente cuadrada, una inclinación hacia la izquierda, y un giro en contra del sentido de las agujas del reloj, respectivamente;
- 25 la Fig. 5B es una vista frontal de un collar para la cadera para detectar cambios en la orientación del conductor para controlar la guiñada según una realización de la presente invención;
- la Fig. 5C es un diagrama de una configuración de transmisor/receptor de ultrasonidos según diversas realizaciones de la presente invención;
- 30 la Fig. 5D es un medio de visualización de la sincronización de las formas de onda de señales ultrasónicas transmitidas y recibidas por componentes de realizaciones de la presente invención mostrada en la Fig. 4A;
- la Fig. 6A es una vista en planta de la plataforma de un transportador personal con la placa de presión retirada, indicando la colocación de sensores de presión de presión ejercida por los pies según diversas realizaciones de la presente invención;
- 35 la Fig. 6B es un esquema de una placa de presión para la aplicación de fuerza por parte de un usuario en realizaciones de la presente invención mostrada en la Fig. 6A;
- la Fig. 6C es un esquema que muestra el desarrollo de una señal de instrucción de la guiñada procedente de los sensores de la fuerza ejercida por el pie de la Fig. 6A, según una realización de la presente invención;
- la Fig. 6D muestra una banda muerta en la instrucción como una función de entrada de la guiñada;
- 40 la Fig. 6E muestra una función de rampa para invertir la instrucción de la guiñada como una función de la velocidad de las ruedas;
- la Fig. 7A muestra un dispositivo de inclinación del manillar para una entrada de control a un transportador personal según realizaciones de la presente invención;
- 45 la Fig. 7B muestra un dispositivo de inclinación del manillar con un acoplamiento flexible del eje de control al módulo de contacto con el suelo para una entrada de control a un transportador personal según realizaciones de la presente invención;
- la Fig. 7C muestra un dispositivo adicional de inclinación del manillar con mangos separados para una entrada de control a un transportador personal según realizaciones de la presente invención;

- la Fig. **7D** muestra un dispositivo giratorio del manillar para una entrada de control a un transportador personal según realizaciones de la presente invención;
- la Fig. **7E** muestra un dispositivo de inclinación del manillar para una entrada de control a un transportador personal según realizaciones de la presente invención;
- 5 la Fig. **7F** muestra un amortiguador y un ajuste de amortiguación para ser utilizados con la realización de la invención mostrada en la Fig. 7A;
- la Fig. **7G** es un esquema de bloques de un bloque mezclador para combinar información de entrada de guiñada y de balanceo según realizaciones de la presente invención;
- 10 la Fig. **7H** muestra un cojinete y un retén del manillar que permiten el grado de rotación de libertad del manillar que va a ser bloqueado según una realización de la presente invención;
- la Fig. **8A** muestra la respuesta del manillar activo a una perturbación del balanceo, según una realización de la presente invención;
- las Figuras **8B** y **8C** muestran vistas frontal y trasera de una respuesta activa del manillar durante un giro a alta velocidad, según una realización de la presente invención;
- 15 las Figuras 9A y 9B muestran la configuración del soporte físico mecánico básico de la realización de manillar motorizado de las Figuras 8A-8C;
- la Fig. **10A** muestra una vista frontal de un sensor de la posición de la rodilla para proporcionar una entrada de la dirección a un transportador personal según realizaciones de la presente invención;
- 20 la Fig. **10B** muestra un mecanismo de centrado empleado junto con el sensor de posición de la rodilla de la Fig. 10A;
- la Fig. **10C** muestra sensores de posición de la cadera para proporcionar una entrada de la guiñada del usuario según una realización de la presente invención;
- la Fig. **10D** muestra un sensor de la posición del torso para proporcionar una entrada de la guiñada del usuario según una realización de la presente invención; y
- 25 la Fig. **11** muestra un mecanismo de placa para los pies de deslizamiento lineal según otra realización más de la presente invención.

### **Descripción detallada**

- Se puede decir que un transportador personal actúa como “elemento de equilibrio” si tiene capacidad para una operación sobre una o más ruedas pero sería incapaz de quedar vertical sobre las ruedas si no fuese por la operación de un bucle de control que gobierna la operación de las ruedas. Un transportador personal de equilibrio carece de estabilidad estática pero está equilibrado de forma dinámica. En el presente documento se denomina a las ruedas, u otros elementos de contacto con el suelo, que proporcionan un contacto entre tal transportador personal y el suelo u otra superficie subyacente, como “elementos primarios de contacto con el suelo”.
- 30 La Fig. 1 muestra un transportador personal de equilibrio, designado en general por el número **10**, y descrito con detalle en la patente U.S. nº 6.302.230, como ejemplo de un dispositivo al que puede aplicarse de forma ventajosa la presente invención. Un sujeto 8 está de pie sobre una plataforma 12 de soporte y sujeta una empuñadura 14 en un manillar 16 fijado a la plataforma 12. Se puede proporcionar un bucle de control, de forma que la inclinación del sujeto tiene como resultado la aplicación de par a la rueda **20** en torno al eje **22** por medio de un accionamiento por motor mostrado de forma esquemática en la Fig. 2, como se expone a continuación, provocando de ese modo una aceleración del transportador. Sin embargo, el transportador **10** es inestable estáticamente, y, la operación ausente del bucle de control para mantener una estabilidad dinámica, el transportador **10** ya no podrá operar en su orientación operativa típica. “Estabilidad” según es utilizada en la presente descripción y en cualquier reivindicación adjunta hace referencia a la condición mecánica de una posición operativa con respecto a la que regresará el sistema si se perturba el sistema por alejamiento de la posición operativa en cualquier sentido.
- 35 40 45 50 Se pueden utilizar de forma ventajosa distintos números de ruedas u otros miembros de contacto con el suelo en diversas realizaciones de la invención como particularmente adecuados para distintas aplicaciones. Por lo tanto, dentro del alcance de la presente invención, el número de miembros de contacto con el suelo puede ser cualquier número igual o mayor que uno. Puede ser que un transportador personal actúe como “elemento de equilibrio” si es tiene capacidad de operación sobre una o más ruedas (u otros elementos de contacto con el suelo) pero sería incapaz de mantenerse vertical de forma estable sobre las ruedas si no fuese por la operación de una operación que gobierna el bucle de control de las ruedas. Se puede denominar en el presente documento a las ruedas, u otros elementos de contacto con el suelo, que proporcionan un contacto entre tal transportador personal y el suelo u otra

superficie subyacente, y soportan mínimamente el transportador con respecto a un vuelco durante una operación rutinaria, como “elementos primarios de contacto con el suelo”. Un transportador tal como el transportador **10** puede ser utilizado, de forma ventajosa, como una plataforma móvil de trabajo o un vehículo recreativo tal como un cochecito de golf, o como un vehículo de reparto.

- 5 El término “inclinación”, según es utilizado en el presente documento, hace referencia al ángulo con respecto a la dirección vertical local de una línea que pasa a través del centro de masas del sistema y el centro de rotación de un elemento de contacto con el suelo que soporta el sistema por encima del suelo en un momento dado. El término “sistema” hace referencia a toda la masa que se hace que se mueva debido al movimiento de los elementos de contacto con el suelo con respecto a la superficie sobre la cual se mueve el vehículo.
- 10 “Estabilidad” según se utiliza en la presente descripción y en cualquier reivindicación adjunta hace referencia a la condición mecánica de una posición operativa con respecto a la que regresará el sistema naturalmente si se perturba el sistema por alejamiento de la posición operativa en cualquier sentido.

- 15 En la solicitud de patente U.S. nº 10/308.850 se describe con detalle un mecanismo para proporcionar una entrada del usuario para un sistema de control de la guiñada de un transportador personal. Como se describe en la misma y como se muestra en las Figuras 3A-3C, un usuario montado sobre el transportador puede proporcionar una entrada de control de la guiñada a un controlador **502** de la guiñada (mostrado en la Fig. 2) al girar el conjunto 800 de empuñadura de la guiñada, mostrado con detalle en la Fig. 3B.

- 20 La Fig. 2 muestra la diferenciación, en el sumador **522**, del valor actual  $\Psi$  de la guiñada con respecto al valor deseado  $\Psi$  de la guiñada para obtener el error actual  $\Psi_{err}$  de la guiñada. El valor deseado  $\Psi_{deseado}$  de la guiñada se obtiene de una entrada del usuario, diversas realizaciones de la cual están descritas en el presente documento. El valor actual  $\Psi$  de la guiñada está derivado de diversas estimaciones de estado, tal como las velocidades diferenciales de las ruedas, la detección inercial, etc. La derivación de la instrucción de guiñada del error de la guiñada es proporcionada por el controlador **72** del motor según diversos algoritmos de procesamiento descritos, por ejemplo, en la patente US nº 6.288.505, y aplicados a los motores izquierdo y derecho **28** y **30**, respectivamente.

- 25 Con referencia particular a la Fig. 3A, una realización de la interfaz **14** del usuario tiene dos ejes huecos **802**, uno en cada lado, pudiendo servir cualquiera de los dos de forma intercambiable para soportar el conjunto **800** de empuñadura de la guiñada. Por lo tanto, la guiñada puede ser controlada, de forma ventajosa, por una mano especificada (derecha o izquierda), en cualquiera de los dos lados del eje central **16** de control. El conjunto **800** de empuñadura de la guiñada comprende una empuñadura **804** que es girada en torno a un eje **806** coaxial con ejes **802**. El resorte amortiguador **808** proporciona una fuerza opuesta a la rotación de la empuñadura **804** de la guiñada y devuelve a la empuñadura **804** de la guiñada a la posición neutral central. La empuñadura **804** de la guiñada contiene al menos un imán **810** (se muestran dos en la Fig. 3B, según una realización preferente), el giro del cual en torno al eje **806** permite que la orientación rotativa de la empuñadura **804** sea detectada por la unidad **812** de detección (mostrada en la Fig. 3C) que está dispuesta dentro del eje sobresaliente **802**. Por lo tanto, la interfaz **14** del usuario puede estar sellada en sus extremos con empuñaduras fijas **814** de la guiñada y la naturaleza estanca integral de la interfaz del usuario no está puesta en peligro por la entrada de control de la guiñada. La unidad **812** del sensor puede contener sensores de efecto Hall que son preferentemente redundantes para garantizar una operación libre de fallos. También pueden emplearse otros sensores magnéticos dentro del alcance de la presente invención.

- 40 La Fig. 4 muestra un diagrama de bloques para el sistema de control de retroalimentación de la guiñada, según una realización de la invención. La función EscalaAcelLateral **42** reduce el efecto de la entrada **40** de la guiñada a mayores velocidades de las ruedas y con una mayor aceleración centrípeta. La retroalimentación **44**, utilizada para regular la velocidad ordenada de guiñada, contiene un término **45** de la posición de la guiñada para mantener la posición de la guiñada, un término **46** de velocidad al cuadrado que intentará regular la velocidad de guiñada a cero, y un término **49** de alimentación directa utilizado para proporcionar una mejor respuesta de instrucción de la guiñada al usuario.

De la Fig. 4, es evidente que el término **49** de alimentación directa debe dominar para maniobras rápidas para proporcionar un sistema sensible. La retroalimentación **46** de velocidad al cuadrado se desvía de la teoría de control lineal y tiene el efecto de proporcionar un amortiguamiento no lineal de velocidad de la guiñada.

- 50 Se describen ahora varias alternativas a un dispositivo de entrada de empuñadura de torsión para especificar una entrada direccional o de velocidad por parte del usuario.

#### Detección de la posición del cuerpo

- Según diversas realizaciones de la presente invención, se emplea un dispositivo que detecta la posición del cuerpo del conductor para controlar la dirección o el movimiento hacia delante/atrás de un transportador. Para fines de control de la guiñada, según diversas realizaciones de la invención, los sensores detectan si la cadera o los hombros de un conductor, mostrados de forma esquemática desde arriba en la Fig. 5A, están debidamente alineados, o están trasladados en una dirección lateral **51** o están girados de otro modo, de forma que un hombro es impulsado en una

dirección hacia delante **52** mientras que se impulsa el hombro opuesto en una dirección hacia atrás **53**. Estos sistemas pueden ser utilizados de forma independiente o para proporcionar una entrada direccional.

Una realización de la invención, descrita con referencia a la Fig. 5B, conlleva un contacto mecánico con el conductor **8**. Hay montadas almohadillas **54** en la palanca 55 de mando y contienen transductores para medir presiones que transmiten señales al controlador de la guiñada en base a cambios en la posición detectada de la cadera del usuario. Otros procedimientos de detección de la posición del usuario pueden depender de la detección óptica o ultrasónica, un ejemplo de las cuales se describe ahora con referencia a las Figuras 5C y 5D.

En una realización, el conductor lleva puesto una baliza ultrasónica, y un conjunto de receptores montados en la máquina detecta la posición del conductor. La información del tiempo de propagación es obtenida del transmisor a cada receptor y es utilizada para calcular la posición lateral del usuario con respecto al centro de la máquina. Para girar la máquina a la derecha, el usuario se inclina hacia la derecha, y de forma similar para girar a la izquierda. Además del atractivo intuitivo de un mecanismo que traduce el movimiento del cuerpo en un control del transportador, como en el caso de un control del movimiento hacia delante-atrás de un transportador personal del tipo descrito en la patente US nº 6.302.230, la modalidad del control del cuerpo también coloca, de forma ventajosa, el centro de gravedad (CG) del usuario de forma correcta para giros a alta velocidad.

Un sistema de inclinación del cuerpo descrito con referencia a las Figuras 5A y 5B está constituido por tres componentes mecánicos distintos —la baliza transmisora, el conjunto receptor, y la electrónica de procesamiento—. En una realización de la invención, el conductor lleva puesta una baliza ultrasónica (US)/transmisora de RF, y hay montados un conjunto de receptores ultrasónicos y un receptor de RF debajo del manillar del transportador, junto con la electrónica de interfaz. Se pueden emplear diversos transmisores/receptores ultrasónicos, tales como los suministrados por Devantech Ltd. de Norfolk, Inglaterra. La baliza transmisora es una pieza pequeña de resina de acetal Delrin® con tres transmisores ultrasónicos, a una frecuencia típica de 40 kHz, montados a 90 y  $\pm 45$  grados. Esto produce un cono de sonido de aproximadamente 160 grados. La electrónica del controlador está montada en una placa de circuito impreso enterrado detrás de los transmisores, y hay montado debajo un pequeño transmisor de RF. Un enganche de cinturón de un teléfono inalámbrico fija el transmisor al usuario, mientras que se suministra energía por medio de las baterías.

El conjunto receptor es un eje con receptores montados en diversas ubicaciones. Los receptores de ultrasonidos también están montados en piezas pequeñas de Delrin®, con la electrónica ubicada detrás del eje en cada ubicación. Para aumentar el tamaño del cono de recepción, se utilizan 2 receptores de US en cada ubicación, uno montado orientado directamente hacia el exterior y el otro a 45 grados de él. Para los sensores externos, el receptor de 45 grados fue orientado hacia dentro y para los receptores internos, el receptor de 45 grados fue orientado hacia fuera. Esto hace que sea posible utilizar los dos receptores externos (izquierdo y derecho) para la ubicación cuando el conductor se encuentra en el centro de la máquina, pero según se mueve el conductor hacia la derecha, los dos sensores de la derecha toman el mando, y lo mismo ocurre cuando el conductor se mueve hacia la izquierda.

Un localizador de señal ultrasónica, tal como un Devantech modelo SRF-04, puede proporcionar tanto las funciones de transmisor como de receptor y la circuitería, sin embargo las modificaciones se encuentran dentro del alcance de la presente invención. La porción de baliza consolida tres controladores en una única placa. Además, el código del microcontrolador que reside en las placas de los transmisores permite que la placa transmita de forma continua.

La placa diseñada para comunicarse con el ordenador está montada experimentalmente con microcontroladores del mismo tipo que las placas Devantech. La función de esta placa es crear una onda cuadrada que represente la diferencia de tiempo de llegada entre el impulso de RF y el impulso ultrasónico (la onda asciende cuando llega el impulso de RF, y desciende cuando llega el impulso de US), y comunicar correctamente esta onda a la circuitería del ordenador. Dado que la RF se propaga a la velocidad de la luz, y el sonido a la velocidad del sonido, este sistema tiene como resultado una señal ultrasónica precisa del tiempo de propagación (TOF).

Con referencia a la Fig. 5D, la placa temporizadora contadora que reside en el chasis del ordenador recibe 4 formas de onda que representan los 4 TOF desde el transmisor hasta los 4 receptores, y utilizando un reloj de 400 kHz, determina la duración de cada impulso (en conteos del reloj de 400 kHz). Entonces, esta información es transmitida a los algoritmos para el cálculo de la distancia y un procesamiento adicional.

Cuando un transportador de equilibrio está desplazándose a cualquier velocidad significativa, el conductor necesita inclinarse en la dirección de un giro ordenado para contrarrestar las aceleraciones centrípetas debidas al giro. Esta máquina utiliza los sensores de ubicación del cuerpo para girar la máquina. Cuando el conductor está centrado en la máquina, no se genera ninguna entrada de giro. Cuando el conductor se inclina hacia la izquierda, se ordena un giro a la izquierda, y lo mismo para la derecha. Por lo tanto, no se inicia el giro hasta que el CG del usuario está ubicado de forma apropiada. Además, al conocer la ubicación exacta del CG del usuario (como al colocar el transmisor en la cintura del conductor), el sistema puede igualar exactamente la velocidad/el régimen de giro de las ruedas con el ángulo en el que se encuentra el usuario, cancelando exactamente, en teoría, las fuerzas que actúan sobre el cuerpo. Por lo tanto, la cantidad de giro está regulada para la ubicación del CG del conductor y la velocidad de las ruedas.

Según la invención, la información del tiempo de propagación (TOF) desde un transmisor ultrasónico es transmitida al menos a 2 receptores de ultrasonidos. El tiempo de propagación fue calculado a partir de la diferencia de un frente de un impulso recibido de RF con respecto a un frente de un impulso recibido de US. Dado que la velocidad del sonido es sustancialmente una constante (dentro de la operación de la máquina), se puede calcular la distancia a partir de su tiempo de propagación desde el transmisor al receptor. Entonces, se utilizan la ley de los cosenos junto con las distancias conocidas de los receptores desde el centro y entre sí para calcular la ubicación del transmisor en la dirección lateral. Debido a los receptores redundantes, la ubicación lateral es única, e inmune a cambios de altura y distancia hacia delante/atrás desde el eje (a no ser que este cambio tuviese como resultado una pérdida de la línea de visión (LOS)).

5

10 **Fuerza ejercida por los pies**

Según otra realización de la invención, se proporciona una entrada de control de la guiñada a un transportador al detectar la distribución de pesos del conductor mediante el uso de sensores de fuerza en la placa para los pies. Para la dirección, el conductor se inclina en la dirección del giro deseado. Inclinación a la derecha: giro hacia la derecha; inclinación a la izquierda: giro hacia la izquierda. Se pueden obtener muchas variaciones de un sistema base que contenga muchos sensores de fuerza ubicados en la placa para los pies.

15

Una placa PCB proporciona todo el acondicionamiento de señales para los sensores de fuerza. Las señales de los sensores son sacadas de la placa PCB como señales analógicas de cero o de cinco voltios. Se utilizan entradas A/D sobrantes en los amplificadores para una lectura directa de las 8 señales analógicas y proporcionar un conteo de 8 bits al *software* para cada sensor.

20

La variación primaria implementada y probada utiliza sensores en el lado izquierdo y sensores en el lado derecho de la placa para los pies. Cuando la persona se inclina a la derecha, las señales del sensor derecho se vuelven grandes, indicando un giro hacia la derecha. Cuando la persona se inclina a la izquierda, las señales del sensor izquierdo se vuelven grandes, indicando un giro hacia la izquierda. Se construyó una placa especial para los pies para permitir que la distribución de fuerzas fuese medida en cuatro esquinas de una placa rígida.

25

De forma ventajosa, el sistema resultante es muy maniobrable a velocidades reducidas y un conductor puede hacerse más hábil con esta entrada de la guiñada que la entrada de la guiñada de la empuñadura de torsión. Existe una solución de compromiso entre el ancho de banda del dispositivo que permite que el sistema gestione mejor las perturbaciones, y la capacidad de respuesta percibida del sistema.

30

Como movimiento natural, cuando se gira en un transportador personal, un usuario tiende a desplazar el peso en la dirección del giro. La razón de esto es que la fuerza centrípeta generada al girar tiende a empujar a la persona fuera del transportador. Se requiere el mismo movimiento del usuario cuando se monta en un vehículo todoterreno (ATV) de 3 o 4 ruedas. Como resultado, una entrada natural para girar que fomenta una buena posición del usuario es girar a la derecha cuando el usuario desplaza su peso a la derecha. En esta configuración, el usuario se encuentra en la posición ideal para realizar un giro hacia la derecha.

35

Los esquiadores y los patinadores tienden a empujar con su pie derecho para girar hacia la izquierda. La razón de esto es que desplazan la distribución de su peso desde la derecha hasta la izquierda utilizando sus pies. En un transportador personal según la presente invención, los usuarios necesitan desplazar sus pesos desde la derecha hasta la izquierda sin utilizar sus pies, pero utilizando el manillar para este dispositivo de entrada. Si se invirtiese el signo para acomodar la preferencia de los esquiadores y patinadores para inclinarse a la derecha y girar a la izquierda, habría como resultado un sistema inestable. Según se inclina el usuario a la derecha, el transportador gira hacia la izquierda, generando una fuerza centrípeta que empuja al usuario más hacia la derecha, generando una instrucción más a la izquierda.

45

Con referencia a la Fig. 6A, el elemento de detección de la fuerza está ubicado en el extremo de la cinta flexible en un círculo del tamaño aproximado de una moneda de diez centavos de dólar. Sin fuerza sobre el sensor, la resistencia es de aproximadamente 800 megaohmios. Con 45,36 N sobre el sensor, la salida es de aproximadamente 200 megaohmios. Para acondicionar la señal, se utilizaron amplificadores operacionales para crear un amplificador activo y un filtro antisolapamiento activo. El objetivo del filtro es evitar que sean medidas mediciones superiores a 50 Hz. Se utiliza un amplificador inversor dado que proporciona una salida proporcional al cambio en la resistencia. Se utiliza un filtro inversor de paso bajo como un filtro antisolapamiento y para volver a cambiar la tensión de 0 a 5

50

Se utiliza una fuente de alimentación de +/- 12 voltios para alimentar los amplificadores operacionales para permanecer dentro de las regiones lineales seguras de los amplificadores operacionales.

Los sensores están ubicados bajo una placa metálica para los pies, uno en cada esquina, como se muestra en la Fig. 6A. Una placa metálica superior permite que los botones estándar de detección del conductor sean pulsados mientras que proporcionan una superficie dura contra la que pulsar cada uno de los 4 sensores. La placa metálica se muestra en la Fig. 6B.

55

En la Fig. 6C se muestra la instrucción general de la guiñada a partir de las mediciones del sensor a la instrucción de la guiñada suministrada al sistema de control.

5 Dado que un usuario desplaza a menudo su peso ligeramente mientras está de pie en su sitio, se añade una banda muerta al procesamiento de los sensores. Como se muestra en la Fig. 6D, la banda muerta **48** proporciona una región en torno a una entrada de la guiñada nula en la que las entradas ligeras de guiñada no tienen como resultado ninguna instrucción de guiñada.

Para calcular la instrucción de la guiñada a partir de los sensores, se utiliza la siguiente ecuación:

**¡Error! No pueden crearse objetos editando los códigos de campo.**

en la que  $\Psi_{inst}$  es el régimen ordenado de cambio en la guiñada.

10 Cada sensor proporciona 0 voltios, o 0 conteos sin peso sobre él, y 5 voltios, o 255 conteos completamente cargado. Una banda muerta de aproximadamente 40 conteos proporcionó un control lo suficientemente regular con suficiente regular. Además, se pueden emplear filtros para filtrar la señal de instrucción, con pasabandas centrados normalmente desde aproximadamente 0,5 Hz hasta aproximadamente 3 Hz.

15 Cuando se mueve hacia atrás, si se utilizan las mismas ecuaciones para generar la instrucción de la guiñada, el sistema resultante tiene una retroalimentación positiva. Cuando el transportador realiza un "giro en S", marcha atrás, si el usuario se inclina a la derecha, el transportador girará hacia la izquierda y crea una fuerza centrípeta sobre el usuario, empujando al usuario hacia la derecha. Para solucionar este problema, se puede implementar un "giro en C". Se utiliza una función de rampa para invertir la instrucción de la guiñada cuando el transportador comienza a moverse marcha atrás. Para mantener un movimiento constante de giro, cuando se gira en el sitio, la rampa solo  
20 conmuta la dirección de la instrucción de la guiñada cuando se mueve hacia atrás. La Fig. 6E muestra la función de rampa para invertir la instrucción de la guiñada como una función de la velocidad de las ruedas. Se utiliza la función rampaRev para modificar la instrucción de velocidad de la guiñada como sigue:

**¡Error! No pueden crearse objetos editando los códigos de campo.**

La señal rampaRev es filtrada en paso bajo a 5,0 Hz para suavizar los efectos de la rampa.

25 Se puede conectar un interruptor de freno, tal como el interruptor 7 de freno (mostrado en la Fig. 3A) para apagar la instrucción de guiñada cuando es pulsado. Cuando se pulsa el botón, se aplica un multiplicador de instrucción de guiñada de 0, mientras que, si se libera, el multiplicador de instrucción de guiñada es de 1. Se utiliza un filtro de paso bajo de 0,5 Hz para suavizar las transiciones entre activado y desactivado.

### Inclinación del manillar

30 Una de las propiedades clave de un buen dispositivo de entrada direccional es su capacidad para proporcionar una entrada direccional mientras que se gestiona una aceleración lateral. Los giros de aceleración lateral elevada requieren que el usuario se incline en la dirección del giro para no caerse del transportador, o volcar el mismo. Un dispositivo óptimo de entrada direccional requerirá que el usuario tenga su cuerpo colocado de forma apropiada cuando se ordena una entrada direccional. Una entrada de guiñada con la empuñadura de torsión, tal como se ha  
35 expuesto anteriormente con referencia a la Fig. 3, fomenta una colocación corporal apropiada mediante la orientación de su eje de rotación y el diseño de la combinación del mando y del manillar. Sin embargo, es posible para realizar una entrada no coordinada dependiendo de la técnica del conductor.

Otro procedimiento para fomentar una colocación apropiada del cuerpo es formar uno o más manillares en una palanca de control. Al pivotar el eje cerca de la base de la máquina, el usuario puede mover su cuerpo a altas  
40 velocidades y simplemente sujetarse al manillar y ordenar una entrada. Cuando se ajusta de forma apropiada, el cuerpo del usuario ya se encuentra en posición para reaccionar contra la aceleración lateral en el inicio del giro, reduciendo la probabilidad de un giro coordinado de forma inapropiada.

En la máquina con inclinación del manillar, la entrada de la guiñada es proporcional al ángulo del manillar con respecto al chasis. Preferentemente, el eje de pivote está montado tan bajo como sea práctico en el módulo de  
45 contacto con el suelo del transportador para permitir que el movimiento del eje siga de forma natural el movimiento del cuerpo del usuario, dado que una persona se inclina de forma más estable al pivotar sobre sus tobillos. En otras palabras, un manillar de pivote bajo hace un seguimiento de la cinemática del cuerpo. En esta realización, se convierte la entrada de la guiñada en una instrucción de la guiñada utilizando algoritmos estándar de un transportador personal, que aplican una ganancia fija a la entrada de la guiñada a bajas velocidades, pero convierten  
50 a escala la ganancia a una mayor velocidad para hacer que la entrada de la guiñada se corresponda con la aceleración lateral en vez de con el régimen de guiñada. Esto funciona bien con el dispositivo de inclinación del manillar, dado que el ángulo deseado de inclinación es aproximadamente proporcional a la aceleración lateral. El resultado es un procedimiento muy natural de entrada, en el que el usuario "piensa" derecha o izquierda mediante su inclinación, y la máquina sigue.

$$\Psi_{inst} = K(\Phi_{MAN} - \Phi_{Balanceo})$$

en la que K es una constante;

$\Phi_{MAN}$  es el ángulo del manillar con respecto a la plataforma;

$\Phi_{Balanceo}$  es la inclinación de la plataforma con respecto a la gravedad

5  $\Psi_{inst}$  es la instrucción de guiñada.

Otras realizaciones de la invención pueden tener un manillar de pivote inclinado o montado horizontalmente. En las máquinas con pivotes inclinados, el ángulo del pivote con respecto al parche de contacto y la superficie proporcionaron una interesante dinámica de giro. Específicamente, el eje de rotación puede afectar a la dinámica del giro en una pendiente o en una superficie plana. Preferentemente, la máquina tiene un pivote horizontal bajo. Un pivote horizontal puede seguir fácilmente la cinemática del cuerpo durante un giro.

Según otra realización más de la invención, con la dirección de desplazamiento como el punto de referencia, el manillar pivotado puede estar montado bien en la parte delantera o bien en la parte trasera del transportador. La configuración de un manillar de pivote montado en la parte trasera permite a un usuario dirigir el transportador con otras partes del cuerpo tales como las rodillas, además de utilizar un miembro acoplado al manillar. Además, el transportador puede incluir una característica que inutiliza la dirección mediante inclinación cuando sube o se baja un usuario. La característica puede ser activada cuando el transportador determina que un usuario está parcialmente encima de la plataforma o fuera de la misma, de manera que el transportador no puede girar hacia el usuario, ni alejándose del mismo, mientras se sube o se baja.

De los diversos mecanismos adecuados para proporcionar una inclinación del manillar, se describe un primer mecanismo con referencia a la Fig. 7A. El movimiento del manillar **700** está limitado a un plano que es sustancialmente transversal a la dirección de movimiento hacia delante del transportador personal **10** por medio de ejes paralelos **702** de conexión que están acoplados de forma pivotante tanto a la plataforma **12** como al manillar **700**. El movimiento del manillar también puede estar empujado hacia una posición central y/o amortiguado por medio de resortes **704** o amortiguadores. En una realización alternativa mostrada en la Fig. 7B, el manillar **700** puede estar acoplado a la plataforma **12** del transportador **10** por medio de elementos **708** de flexión, que limitan de nuevo el movimiento del manillar sustancialmente a un plano transversal a la dirección de movimiento hacia delante y permitiendo la inclinación del manillar en un arco centrado en un pivote virtual en el plano, o cerca del mismo, de la plataforma **12**. En cualquiera de las reivindicaciones de las Figuras 7A y 7B, uno o más sensores **710** detectan la posición del manillar **700** o de los miembros **702** que acoplan el manillar al resto del transportador, bien con respecto a la vertical o bien con respecto a una dirección fijada con respecto al módulo de contacto con el suelo. El sensor **710** puede ser una célula de carga, por ejemplo, dispuesta a lo largo del eje **16** de control. Además, si se desea, se pueden utilizar los resortes o los amortiguadores acoplados al manillar para limitar el régimen de giro del transportador.

Preferentemente, el movimiento del manillar no está empujado hacia una posición central. En las realizaciones en las que el manillar no está empujado hacia una posición central, no hay precarga en torno al centro y, por lo tanto, un usuario puede dirigir el transportador de forma precisa y exacta.

Según una realización mostrada en la Fig. 7C, se pueden mover por separado dos segmentos individuales **720** y **722** de manillar, mediante la inclinación del usuario **8**, con respecto a la plataforma **12** del transportador. En la realización mostrada, la posición de cada segmento de manillar está empujada hacia una altura "neutral" especificada dentro de camisas respectivas **724** y **726** por medio de resortes, o de otra manera. Se transmite un desplazamiento de altura relativa al controlador de la guiñada para controlar el giro, como se describe en conexión con otras modalidades de entrada del usuario.

En la Fig. 7D se muestra una realización adicional más de la invención, en la que se detecta la rotación en las direcciones en el sentido de las agujas del reloj y en el sentido contrario a las agujas del reloj **730** y **732** del manillar **700** con respecto al eje **16** de soporte para generar una señal que transmite una entrada del usuario al controlador **502** de la guiñada (mostrado en la Fig. 2). Preferentemente, hay incorporado un amortiguador **734** en el acoplamiento pivotal del manillar **700** en torno al eje **16**.

Un dispositivo de inclinación del manillar según una realización adicional de la invención tiene un mecanismo de pivote mostrado en la Fig. 7E. El pivote **70** es ajustable tanto en la constante de resorte como en la precarga, y tiene un intervalo fijo de movimiento de  $\pm 15^\circ$ . Preferentemente, el pivote tiene un intervalo ilimitado de movimiento. El pivote está montado tan bajo como sea posible en el chasis **26** del módulo de contacto con el suelo, y el manillar **16** está montado en la porción de rotación del mecanismo. Un par de amortiguadores **74** puede proporcionar una amortiguación y una rigidez adicionales. Los amortiguadores **74** están montados ligeramente fuera de la horizontal para maximizar su perpendicularidad con respecto al eje **16** de control durante todo el intervalo de movimiento.

Los amortiguadores pueden ser ajustados tanto en constante de resorte como en amortiguación. La constante de resorte es ajustable mediante la presurización del depósito de aire del amortiguador. El ajuste de la amortiguación se realiza con un mando que varía un tamaño de orificio interno al amortiguador. En la Fig. 7F se muestran los amortiguadores 74. En el interior del mecanismo de pivote hay una leva y un seguidor accionado por resorte. La leva comprime los resortes del seguidor, lo que genera la fuerza restablecedora del resorte. Para cambiar la constante del resorte, se sustituye una leva distinta en el pivote y en algunos casos se cambia el número de resortes Belleville. La precarga se ajusta externamente utilizando un tornillo, que mueve una cuña para colocar el resorte Belleville en espiral. Se pueden proporcionar diversos grados de rigidez por medio de levas intercambiables.

Con la leva más rígida instalada y los amortiguadores a presión ambiente, se tiene como resultado una precarga de aproximadamente 3,63 N, según es medida en el manillar. Se requieren aproximadamente 18,14 N de fuerza para desviar el manillar hasta su recorrido completo de 15°.

Un asunto que debe ser abordado en el control de la inclinación del manillar es el efecto de la sensibilidad al terreno. Si la máquina es conducida sobre obstáculos o terreno en mal estado, se fuerza una perturbación de balanceo sobre el sistema de máquina/conductor dado que el cambio resultante en la posición del usuario puede provocar que se introduzca en el sistema una entrada no intencionada de guiñada. Las modalidades de control del guiñado que dependen de la inclinación general del cuerpo de una persona erguida son propensas a ser más sensibles al terreno que, digamos, un control de la guiñada por medio de una empuñadura de torsión.

Para combatir esta sensibilidad al balanceo, se puede emplear un algoritmo de compensación del balanceo. En tal algoritmo, se modifica la entrada de la guiñada para compensar el ángulo de balanceo del chasis, haciendo que la entrada de la guiñada sea el ángulo del manillar con respecto a la gravedad. Dado que es más sencillo que el usuario mantenga la posición del cuerpo con respecto a la gravedad en vez de a la plataforma, esto facilita el rechazo de perturbaciones del balanceo.

Según ciertas realizaciones de la invención, un procedimiento para reducir la sensibilidad al terreno emplea un algoritmo para filtrar entradas de la guiñada en base al régimen de balanceo del chasis. El régimen instantáneo de balanceo, denominado Régimen de balanceo, está inmediatamente disponible en el Estimador de estado de cabeceo, tal como se describe, por ejemplo, en la patente US nº 6.332.103, que deriva la orientación del transportador en base a uno o más giróscopos, una brújula de inclinación, o combinaciones de los mismos. Las perturbaciones transitorias grandes de balanceo provocan que el conductor sea acelerado y, si las perturbaciones transitorias de balanceo estuviesen acopladas de forma rígida, a través del conductor, al mecanismo de control de la guiñada, provocarían una entrada no intencionada de la guiñada.

Hay dos partes diferentes de la solución: rechazo de terreno mientras se circula en línea recta y rechazo de terreno mientras se gira; el primero es un caso especial del segundo. Aunque desactivar la guiñada durante periodos de grandes regímenes de balanceo solucionaría el problema para un movimiento en una dirección fija, se requiere más entrada para desacoplar el balanceo del movimiento direccionado.

Una entrada desconocida es una estimación de la entrada "intencionada" de la guiñada por parte del conductor, es decir, la intención, digamos, de circular en torno a un círculo de 6,10 m. Aunque esta información no está disponible directamente, puede deducirse de forma útil a partir del historial de la entrada de la guiñada. Simplemente al filtrar en paso bajo los datos se proporciona una estimación de la entrada de la guiñada. Sin embargo, esto provoca un retraso en la respuesta que puede ser notado por el conductor. Por una parte, si solo se utilizan datos filtrados en paso bajo cuando hay presentes grandes regímenes de balanceo, es menos probable que el conductor note el retraso. Entonces, el algoritmo según una realización preferente de la invención, emplea un mezclador, controlado por el régimen de balanceo, entre una entrada directa de la guiñada y una versión altamente filtrada.

Una función de transferencia modela la cantidad de régimen de balanceo que se acoplará a la señal de la guiñada. Es una función de diversos factores, incluyendo el diseño de la entrada de la guiñada, la habilidad del conductor, y cómo se agarra el conductor a la entrada de la guiñada. Utilizando este procedimiento de mezcla, se puede ignorar en gran medida la función de transferencia o, como mínimo, se puede minimizar durante el giro.

Los cuatro puntos principales de ajuste son: cuán rápido cambia el mezclador a la versión filtrada, cuán rápido vuelve a cambiar el mezclador, con qué umbral comienza y termina la mezcla, y la frecuencia de esquina del filtro de paso bajo (LPF) sobre la entrada de la guiñada. Hay límites acerca de la cantidad de guiñada no ordenada que puede ser eliminado debido a la configuración del umbral de mezcla. Al configurarlo alto hay más guiñada no ordenada, al configurarlo bajo hay más activaciones falsas y el conductor comenzará a notar el retraso temporal de la señal de la guiñada. Establecer la frecuencia del LPF también tiene soluciones de compromiso. Si se filtra demasiado la guiñada, entonces habrá un retraso perceptible y una posibilidad de perturbaciones transitorias de guiñada que se acoplan del pasado. Establecerla demasiado bajo reduce la capacidad del mezclador para eliminar las perturbaciones transitorias.

Con referencia ahora a la Fig. 7G, el bloque mezclador está definido como:

$$\text{instrucción de la guiñada} = F * \text{entrada de la guiñada} + (1-F) * \text{Guiñada filtrada},$$

en la que F es la función de mezcla que es una señal que varía continuamente entre 0,0 y 1,0.

5 Según diversas realizaciones adicionales de la invención, se reduce el control no intencionado de la guiñada mientras que se reacciona contra el eje para volver a colocar el cuerpo del conductor. El centro de rotación del manillar puede ser recolocado, permitiendo al usuario traccionar de forma lateral sobre el eje sin provocar ningún desplazamiento. El usuario puede bloquear el eje al limitar un grado de libertad al acoplar engranajes 78 cuando son necesarios para reaccionar contra el eje. Una instrucción de guiñada puede comprender una mezcla, lineal o no, de entradas derivadas del par del eje 16 en torno a su eje y del movimiento del eje 16 con respecto a la dirección vertical.

10 De forma alternativa, se puede utilizar una entrada de fuerza o de par. Una célula de carga de fuerza lateral permite que el usuario proporcione un par al eje para volver a situarlo. Asimismo, se puede proporcionar un eje sensible al par para permitir al usuario traccionar de forma lateral sobre el eje.

15 Otro asunto que debe ser abordado en el control de la inclinación del manillar es el efecto de girar mientras se está en un movimiento hacia atrás o marcha atrás. Como se ha descrito anteriormente, el sistema puede gestionar un giro mediante inclinación mientras se está en un movimiento hacia atrás, al conmutar la dirección de la instrucción de la guiñada, para llevar a cabo un "giro en S" o un "giro en C". Preferentemente, el sistema lleva a cabo un "giro en S". El sistema puede compensar, además, la dinámica del giro mientras se está en un movimiento hacia atrás al desensibilizar el movimiento de dirección mediante inclinación. La desensibilización de la dirección mediante inclinación mientras se está yendo marcha atrás puede facilitar de forma ventajosa el uso de las mismas ecuaciones para generar la instrucción de guiñada, el sistema resultante tiene una retroalimentación positiva.

20 Se puede combinar cualquiera de estas realizaciones anteriores, dentro del alcance de la presente invención, con un dispositivo de entrada de control de la guiñada giratoria tal como se muestra en las Figuras 3A-3C. En esta disposición se utiliza el control de giro para una guiñada a baja velocidad, y se utilizaría el dispositivo de inclinación para ordenar la aceleración lateral a mayores velocidades.

**Manillar activo**

25 Según realizaciones adicionales de la invención, un sistema de manillar activo proporciona un control activo del ángulo del manillar con respecto al chasis. El manillar está montado sobre un pivote motorizado. El manillar está colocado con respecto al chasis en base a la aceleración lateral y al ángulo de balanceo del chasis. Si el usuario mantiene un buen acoplamiento con el manillar, el eje proporciona una ayuda para colocar su cuerpo para mejorar la estabilidad lateral. Un usuario experto se inclina automáticamente con el eje, casi sin ejercer ninguna fuerza lateral. Sin embargo, si se encuentra un obstáculo o se realiza o giro imprevisto, el eje activo puede proporcionar ayuda a incluso al operario más experimentado. Este sistema también es particularmente útil en pendientes, tanto mientras se circula como durante maniobras de giro.

35 Para mantener al usuario más estable, el eje podría ser colocado en paralelo al vector resultante de la aceleración lateral y de la gravedad. En el sistema descrito aquí, se determinó la aceleración lateral utilizando únicamente las velocidades de las ruedas, sin aprovechar ninguna otra información disponible de estado del estimador. La aceleración lateral viene dada por la ecuación:

$$a_{lat} = \omega v,$$

en la que  $\omega$  es el régimen de la guiñada y v es la velocidad del transportador.  $\omega$  se basa en la diferencia de las velocidades de las ruedas ( $V_i$  y  $V_d$ ) y la rodada, T.

40

$$\omega = \frac{V_i - V_d}{T}$$

v está determinada por la velocidad media de las ruedas:

$$\omega = \frac{V_i + V_d}{2}.$$

La combinación de estas ecuaciones da:

$$a_{lat} = \frac{V_i - V_d}{T} \cdot \frac{V_i + V_d}{2} = \frac{V_i^2 - V_d^2}{2T}.$$

45 Dado que  $\tan(\alpha_{lat}) \approx \alpha_{lat}$  para ángulos pequeños, la posición del eje con respecto a la vertical es proporcional a la diferencia en el cuadrado de cada velocidad de rueda. Esta posición debe ser compensada al añadir el ángulo de

balanceo del chasis, lo que tiene como resultado una posición del manillar en base a la suma vectorial de la aceleración lateral y de la aceleración debida a la gravedad.

5 Se describe adicionalmente la operación del manillar activo como sigue. El usuario ordena una guiñada, tal como con la entrada de guiñada giratoria mostrada en las Figuras 3A-3C. El usuario puede permitir que el eje activo ayude la colocación del usuario al agarrar de forma rígida al manillar con sus brazos, o puede mantener un agarre más suave y utilizar el eje activo para proporcionarle la retroalimentación. En otra realización, el usuario ordena la guiñada, de forma preferente, con la inclinación del manillar como se muestra en las Figuras 8A-8C. Las Figuras 8A-8C muestran la respuesta del manillar a eventos de balanceo y de giro. Se hace notar, en la Fig. 8C, la alineación del manillar con las piernas del usuario.

10 Las Figuras 9A y 9B muestran la disposición básica del soporte físico mecánico de un pivote motorizado. El pivote motorizado está compuesto de una unidad **92** de reducción del accionamiento armónico alimentado por un motor eléctrico **90**. La salida del accionamiento está acoplada al eje de control por medio de un adaptador **94**. El pivote motorizado crea un par entre el chasis **12** y el eje **16** de control (mostrado en la Fig. 8A), que puede ser regulado para proporcionar el control de posición requerido por el sistema de manillar activo. Un accionamiento armónico es un conjunto de engranajes muy compacto con una relación de reducción elevada que es eficaz y susceptible de inversión. Funciona utilizando un cojinete elíptico, denominado el “generador de ondas”, para “mover” un engranaje flexible **96** ligeramente más pequeño, denominado “eje acanalado flexible” en torno al interior de un engranaje rígido mayor, denominado “eje acanalado circular”. Los accionamientos armónicos adecuados están disponibles en HD Sysystems, Inc. de Hauppauge, Nueva York, EE. UU. y están descritos en las páginas adjuntas.

20 El sistema de manillar activo utiliza algoritmos estándar para controlar las ruedas. El manillar está controlado con un bucle de posición que ordena una posición proporcional a la diferencia en el cuadrado de las velocidades de las ruedas. Aunque se puede calcular y convertir una ganancia teórica a las unidades apropiadas de punto fijo, en la práctica se determinó de forma empírica.

25 El bucle de posición es un bucle PID estándar que utiliza datos de codificación del motor para la retroalimentación. Los objetivos de ajuste son un buen seguimiento de rampas, un tiempo mínimo de respuesta, y un sobregiro mínimo. El bucle fue ajustado utilizando una onda triangular modificada.

El controlador del manillar utilizó la posición en el encendido como la posición de cero (centro). El usuario tuvo que colocar el eje y sujetarlo centrado en el encendido. Se puede proporcionar una retroalimentación de posición absoluta para permitir que el eje se centre automáticamente.

30 Se introducen algo de filtrado y banda muerta en la instrucción antes de dar instrucciones al motor. En una realización específica, se necesitó finalmente la filtración para eliminar cualquier ruido en las velocidades de las ruedas y se utilizó la banda muerta para mantener el eje quieto cuando se gira en el sitio sobre terrenos ligeramente inclinados. Se multiplica una estimación filtrada de primer orden de 1 Hz de aceleración por una primera ganancia (normalmente, del orden de 0,001) y se compensa el balanceo al añadir el ángulo de balanceo multiplicado por una segunda ganancia (normalmente, del orden de 0,15). Después, un *software* indujo una banda muerta, y luego una compensación, de 15% de la instrucción máxima de la posición del motor (normalmente, 400 conteos). El resultado final es filtrado por un filtro de 2 Hz. Este filtro puede ser utilizado para redondear la curva introducido en la banda muerta y para moderar el movimiento del manillar.

#### **Detección mecánica adicional de la posición del cuerpo**

40 Según otras realizaciones de la invención, la posición del cuerpo del conductor, o de una o más partes del mismo, puede ser detectada de forma mecánica como un medio para ordenar una guiñada o un movimiento hacia delante/atrás de un transportador personal. Se ha descrito una realización tal con referencia a la Fig. 5B. Según otra realización tal, descrita con referencia a la Fig. 10A, la detección del cuerpo se lleva a cabo por medio de un dispositivo **910** que sigue el movimiento de la rodilla derecha por medio de un pivote **912** en línea con el tobillo. El pivote **912** está dotado de un potenciómetro **914**, con ganancias de potenciómetro ajustadas de forma apropiada al intervalo de movimiento de la rodilla. Un controlador distingue entre un movimiento del conductor intencionado como explicación de anomalías de entrada provocadas por el terreno. El conductor ordena una entrada de la guiñada al desplazar su cuerpo en la dirección en la que le gustaría girar, como haría un conductor experimentado de un transportador personal, desplazando su centro de gravedad hacia el interior del giro para evitar que la aceleración centrípeta de la base motorizada tire de sus pies.

55 El dispositivo de entrada de la guiñada hace un seguimiento de la posición del cuerpo al registrar el movimiento de la rodilla derecha según gira en torno a un eje longitudinal que pasa por el tobillo derecho. El conductor interactúa con el dispositivo por medio de un soporte **910** que encaja estrechamente en torno a la espinilla superior justo por debajo de la rodilla. El soporte es ajustable en altura y está acolchado para permitir un encaje sin holgura sin molestia. El soporte está fijado por medio de un brazo a un pivote por delante del pie, ubicado de forma que su eje discurre longitudinalmente en relación al chasis, y en línea con el tobillo. (Datos antropométricos de Dreyfuss Associates' The Measure of Man and Woman sugiere que el pivote del tobillo debería ser de aproximadamente 10,16 cm desde la placa de base para un conductor medio que lleva puestos zapatos). Un potenciómetro registra el ángulo del brazo de

forma muy similar al dispositivo de empuñadura de torsión de entrada de la guiñada descrito anteriormente con referencia a las Figuras 3A-3C.

Un dispositivo mecánico de entrada de la guiñada por medio de la posición del cuerpo incorpora un mecanismo de centrado que está descrito con referencia a la Fig. 10B. Un mecanismo **920** de centrado devuelve el dispositivo a la posición neutral (ninguna entrada de guiñada) cuando el conductor no está en contacto con el mecanismo, y proporciona una retroalimentación táctil al usuario en cuanto a la ubicación de la posición neutral. La precarga (ajustable al añadir o quitar arandelas) fue establecida de forma que el conductor necesitó ejercer una fuerza de 9,81 N para mover el dispositivo desde el centro. En el recorrido máximo (25° en cualquier dirección) el conductor experimenta una fuerza de aproximadamente 19,61 N.

Además del eje de pivote sobre el que está ubicado el potenciómetro, hay otro eje no codificado a la altura del tobillo, perpendicular al primero, lo que permite que el soporte se mueva con la rodilla según dobla el conductor las rodillas y los tobillos durante una conducción activa. Un resorte de torsión actúa en torno a este eje no codificado para mantener el soporte presionado firmemente contra el conductor. El resorte no está precargado y genera aproximadamente 44,09 Ng/mm por grado, de forma que el conductor experimenta una fuerza de 14,71 N en su rodilla en una postura típica de conducción (25° por delante de una posición descargada) y 3 kg en un recorrido completamente hacia delante (50°). En la posición completamente hacia delante hay un tope que permite que el conductor ordene un par de cabeceo al chasis a través de la presión hacia delante de la rodilla.

Debido a variaciones en el terreno subyacente, existen situaciones en las que la posición del cuerpo del conductor no se correlaciona necesariamente a la entrada intencionada de guiñada. Una situación es circular por una pendiente lateral, momento durante el cual el conductor necesitará inclinarse cuesta arriba para mantenerse equilibrado. Otra situación es el golpeo de un obstáculo con una rueda, lo que puede provocar que la máquina se balancee bruscamente mientras que el conductor permanece vertical. Durante estas dos situaciones el potenciómetro registrará que la posición del cuerpo ha sido movida con respecto a la máquina, lo que normalmente se interpreta como una instrucción de guiñada. Aunque una posición del cuerpo inducida por el terreno presenta un reto a un sistema que traduce la posición del cuerpo en guiñada, se pueden tomar medidas para mitigar estas situaciones. Un sistema expuesto a continuación aborda las entradas de guiñada inducidos por el terreno descritos anteriormente con algoritmos independientes para pendientes laterales e impactos repentinos contra las ruedas.

En las máquinas con entradas de guiñada derivadas de la posición del cuerpo es necesario compensar la diferencia en el ángulo de balanceo por la tendencia natural del cuerpo para alinearse con la gravedad. La única excepción a esto es el caso en el que hay una fuerza restablecedora suficiente en la entrada de la guiñada para superar la tendencia natural del conductor para mantener la entrada de la guiñada en línea con su cuerpo.

Para compensar por el balanceo la entrada de la guiñada se necesita realizar un cálculo. Este cálculo conlleva medir la cantidad de ángulo de balanceo que se acopla en la entrada de la guiñada. Se utiliza la siguiente función para calcular una entrada de la guiñada compensada por el balanceo:

$$\text{entrada de guiñada compensada por el balanceo} = \text{entrada de guiñada} - (\text{Contribución de ganancia de balanceo con respecto a entrada de guiñada} * \text{balanceo}).$$

Por ejemplo: Contribución de ganancia de balanceo con respecto a entrada de guiñada = (1,44/1,0), en la que 1 conteo de balanceo da 1,44 conteos de guiñada.

Según otra realización de la invención, el conductor puede pulsar un botón que restablece su posición actual de la rodilla como la neutral. Aunque no hay ninguna reacción mensurable en el dispositivo de centrado, el mecanismo puede flexionarse antes de superar la precarga del dispositivo de centrado. Esto se traduce en aproximadamente 1° de movimiento de la rodilla en cualquier dirección que no ordena una guiñada. Esto puede reducirse aumentando la rigidez de la estructura con respecto a la precarga. Un ajuste holgado entre el soporte para la rodilla y la rodilla añade 1-2° adicionales de movimiento que no produce una señal. Además, el potenciómetro puede exhibir histéresis, que puede ser compensada mediante la adición de una banda muerta de *software*. La banda muerta tiene la ventaja de permitir a un conductor una pequeña cantidad de movimiento, lo que reduce la fatiga. Sin embargo, la banda muerta pone en peligro la precisión y el rendimiento de eslalon. También se puede implementar una banda muerta ajustable por un usuario o sensible a la velocidad.

Las ganancias asimétricas pueden ser útiles para compensar la asimetría inherente en la medición del movimiento de una o dos piernas. Dado que la posición del cuerpo determina la entrada de la guiñada, una correspondencia apropiada de la posición del conductor con respecto a la aceleración lateral con velocidad es más significativa en este dispositivo que en un dispositivo de dirección manual.

Según otra realización de la invención, descrita con referencia a la Fig. 10C, se proporcionan dos "bigotes" **930** de acero (aproximadamente con una longitud de 50 cm y una separación de 35 cm), aproximadamente a la altura de la cadera. La inclinación hacia la izquierda o hacia la derecha empuja sobre los bigotes y gira el potenciómetro (se

doblan las ganancias en el *software*). Se prefiere la longitud de los bigotes de forma que el conductor, en el curso de inclinarse hacia atrás y hacia delante, no salga del dispositivo y no pierda la capacidad de entrada de la guiñada.

Otra realización de la invención, expuesta con referencia a la Fig. 10D, emplea dos sensores **940** de la posición del torso del cuerpo con empuñaduras **942** del manillar atornilladas en cada lado del chasis. Las superficies planas lisas **944** (aproximadamente con una longitud de 60 cm y separadas de forma ajustable) están fijadas a un eje de inclinación en ambos lados de la caja torácica del conductor para detectar la posición del cuerpo por encima de la cintura, de forma que se justifique una inclinación del cuerpo lograda al doblar la cintura. Un eje longitudinal de rotación elimina de forma ventajosa las ganancias sensibles a la inclinación que puede haber presentes en otros diseños.

#### 10 **Entrada direccional de deslizamiento lineal**

El dispositivo de entrada direccional de "deslizamiento lineal" es un medio sensible al esfuerzo cortante para dirigir un transportador personal. El dispositivo tiene una plataforma que puede deslizarse en la dirección lateral de la máquina, directamente en línea con las aceleraciones laterales vistas durante el giro.

Durante un giro el usuario siente una aceleración lateral en el bastidor del vehículo de referencia. La aceleración lateral provoca un esfuerzo cortante entre el usuario y el vehículo, que es objeto de reacción a través de la placa para los pies y el manillar. Debido a que el usuario tiene dos puntos para reaccionar a esta fuerza, uno puede ser utilizado como una entrada direccional accionado a través del otro. En esta implementación el usuario reacciona sobre el manillar. El mecanismo de deslizamiento lineal mide esta reacción mediante el desplazamiento de la plataforma, y la utiliza como una instrucción direccional. Este procedimiento de entrada está ligado directamente a la aceleración lateral, modulando el usuario el acoplamiento al ejercer una reacción soltando el manillar. Con una aceleración lateral nula, el usuario puede crear una entrada direccional al empujar lateralmente sobre el manillar. Con una aceleración no nula, la fuerza del usuario sobre el manillar se suma a la fuerza de aceleración lateral para crear la entrada.

El mecanismo de deslizamiento lineal fue diseñado para asentarse encima del chasis de un transportador personal, sustituyendo el conjunto de alfombrilla para los pies. Es ligeramente más pequeño que el área existente de placa para los pies para permitir un desplazamiento de la placa. La plataforma se envuelve en torno a la base del eje de control. El recorrido máximo de la plataforma es de aproximadamente +/- 2,54 cm. En la Fig. 11 se muestra el mecanismo 950 de la placa para los pies.

El conjunto está fijado a la plataforma de un transportador para seres humanos con cuatro bloques que capturan la placa de base del dispositivo de deslizamiento. Los bloques permiten que el conjunto se mueva de forma vertical para activar los interruptores de detección del conductor. Debido a que el peso del conjunto por sí solo es suficiente para activar los interruptores, está equilibrado con dos émbolos de bola. Estos garantizan que los interruptores de detección del conductor solo se activan cuando un conductor se encuentra sobre el transportador.

La plataforma superior está montada sobre cojinetes lineales de bolas de 1,27 cm que, a su vez, están montados sobre una varilla de toma de tierra montada en la plataforma inferior. Una disposición de resorte y de tope proporciona una fuerza precargada de centrado.

Un potenciómetro lineal convierte la posición de la plataforma en una tensión analógica, que es introducida en la placa de circuito impreso en lugar del potenciómetro empleado junto con la realización de empuñadura de torsión descrita anteriormente con referencia a la Fig. 3.

Los algoritmos para la operación de la entrada de la guiñada del deslizamiento lineal son esencialmente los de la entrada de la guiñada de la empuñadura de torsión, como se describe con detalle en la patente US nº 6.789.640, aunque con una polaridad opuesta de la ganancia de la guiñada.

Varias realizaciones de la invención están relacionadas con el dispositivo que se acaba de describir. Según una realización, placas pivotantes individuales para los pies son sensibles al esfuerzo cortante y pivotan en un punto encima de la superficie de la placa, preferentemente entre 10,16 y 15,24 cm por encima de la superficie. Esto permite algo de acoplamiento de la aceleración lateral, pero proporciona al usuario la capacidad de estabilizar el acoplamiento mediante el giro de las piernas o de los tobillos.

De forma alternativa, el deslizamiento lineal puede ser movido hasta el manillar. Esto permite que un usuario utilice sus piernas para reaccionar a las aceleraciones laterales sin ordenar una entrada. Sin embargo, dado que se reacciona a la mayor parte de la aceleración lateral en las piernas, se pierde en gran parte un acoplamiento con la aceleración lateral al mover el dispositivo de deslizamiento lineal al manillar. Se pretende que las realizaciones descritas de la invención sean simplemente ejemplares y serán evidentes numerosas variaciones y modificaciones para los expertos en la técnica. En particular, muchos de los controladores y procedimientos de control de la dirección y de la velocidad descritos en el presente documento pueden ser aplicados de forma ventajosa a transportadores personales que no son transportadores personales de equilibrio. Los transportadores de equilibrio presentan requerimientos particulares para combinar los controles de guiñada y de equilibrio, como se ha expuesto

en la anterior descripción y en la patente US nº 6.789.640. Se pretende que todas las variaciones y las modificaciones de ese tipo se encuentren dentro del alcance de la presente invención según se define en las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un controlador para un transportador que tiene al menos un elemento primario de contacto con el suelo, estando controlado el transportador mediante un ángulo de balanceo, **caracterizado** adicionalmente el controlador **por**
- 5           a. una entrada para recibir la especificación por parte de un usuario de al menos uno de una guiñada deseada y un régimen de guiñada, estando basados la guiñada deseada y el régimen de guiñada en una orientación detectada del cuerpo del usuario; y
- b. un procesador para generar una señal de instrucción en base al menos a la guiñada y el régimen de guiñada especificados por el usuario junto con una señal de instrucción de cabeceo en base a un error
- 10           de cabeceo de tal forma que se mantiene el equilibrio del transportador en el curso de conseguir la dirección y la guiñada especificadas.
2. Un controlador según la reivindicación 1, en el que la entrada de una dirección deseada incluye una dirección hacia delante/atrás especificada por el usuario.
3. Un controlador según la reivindicación 1, que comprende, además:
- 15           un sumador para diferenciar un valor de guiñada instantánea del valor de guiñada especificado por el usuario para generar un valor de error de guiñada, de forma que la señal de instrucción de guiñada generada por el procesador está basada al menos en parte en el valor de error de la guiñada,
4. Un controlador según la reivindicación 1, en el que la entrada para recibir una especificación del usuario incluye un sensor de presión dispuesto para detectar la orientación del usuario.
- 20   5. Un controlador según la reivindicación 1, en el que la entrada para recibir la especificación del usuario incluye un sensor de ultrasonidos dispuesto para detectar la orientación del usuario.
6. Un controlador según la reivindicación 1, en el que la entrada para recibir la especificación del usuario incluye un sensor de fuerza dispuesto en una plataforma que soporta el usuario para detectar la distribución de pesos del usuario.
- 25   7. Un controlador según la reivindicación 1, en el que la entrada para recibir la especificación del usuario incluye un eje dispuesto en un plano transversal a un eje que caracteriza la rotación de las dos ruedas dispuestas de forma lateral, la dirección deseada y la velocidad especificada en base a la orientación del eje.
8. Un controlador según la reivindicación 1, en el que el transportador de equilibrio incluye un manillar, comprendiendo el controlador, además, un pivote motorizado para colocar el manillar en base al menos a uno
- 30           de la aceleración lateral y el ángulo de balanceo del transportador.
9. Un controlador según la reivindicación 1, que comprende, además, un bucle de posición para ordenar una posición del manillar sustancialmente proporcional a la diferencia en el cuadrado de la velocidad de una primera rueda y en el cuadrado de la velocidad de una segunda rueda.
- 35   10. Un aparato para advertir a un conductor a colocarse sobre un vehículo de tal forma como para reducir la inestabilidad lateral debida a la aceleración lateral del vehículo, comprendiendo el aparato:
  - a. una entrada para recibir la especificación por parte del conductor de una dirección deseada de desplazamiento;
  - b. un medio de indicación para indicar al conductor una orientación instantánea deseada del cuerpo en base al menos a la aceleración lateral en curso del vehículo.
- 40   11. Un aparato según la reivindicación 10, en el que el medio de indicación comprende un manillar pivotable con respecto al vehículo, pivotando el manillar en respuesta al giro del vehículo.

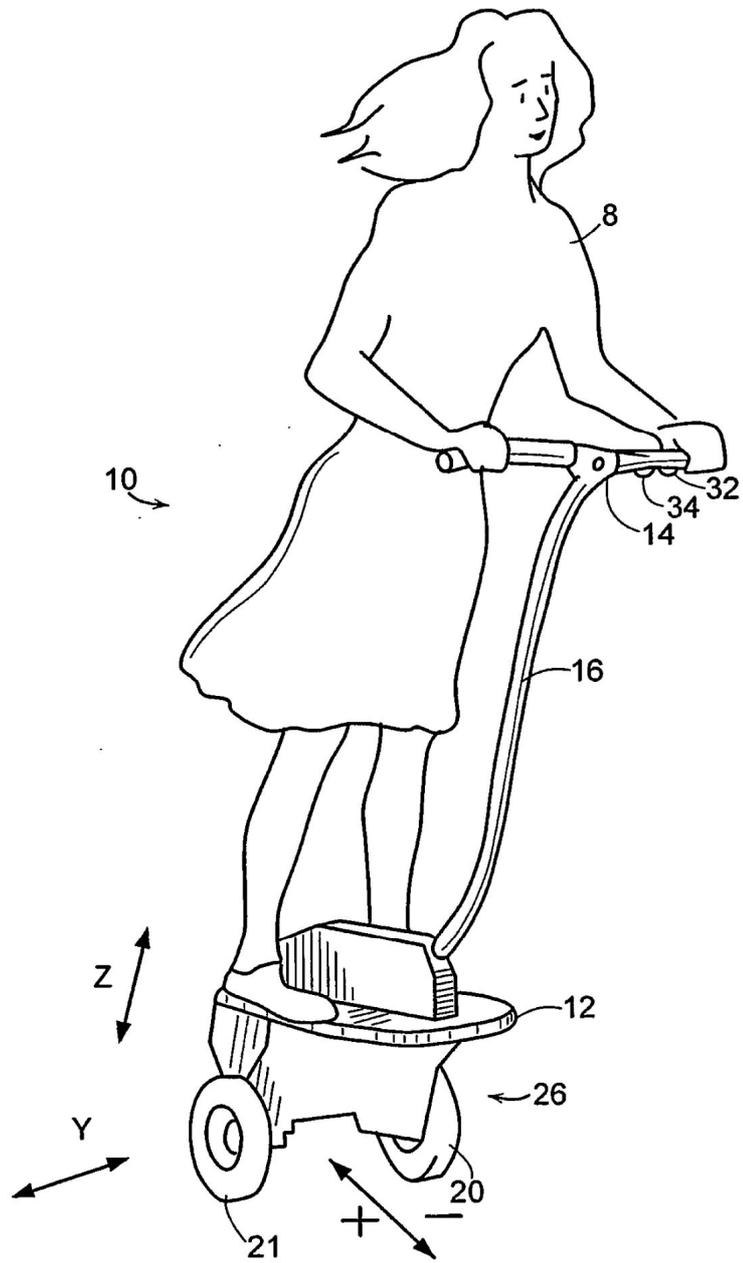


FIG. 1

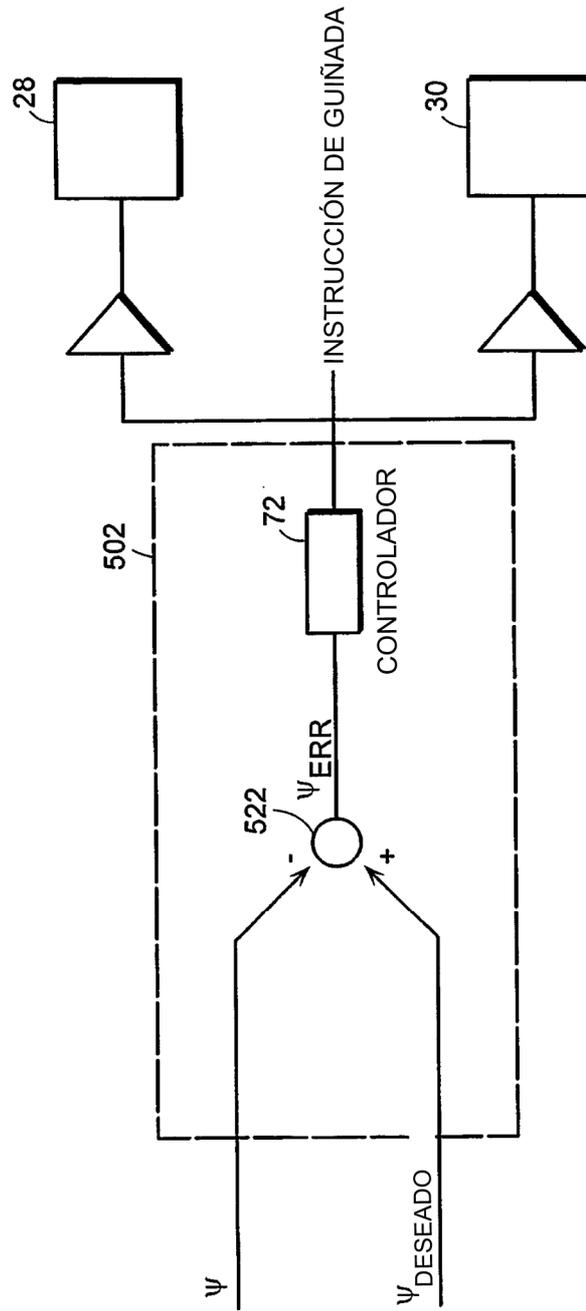


FIG. 2

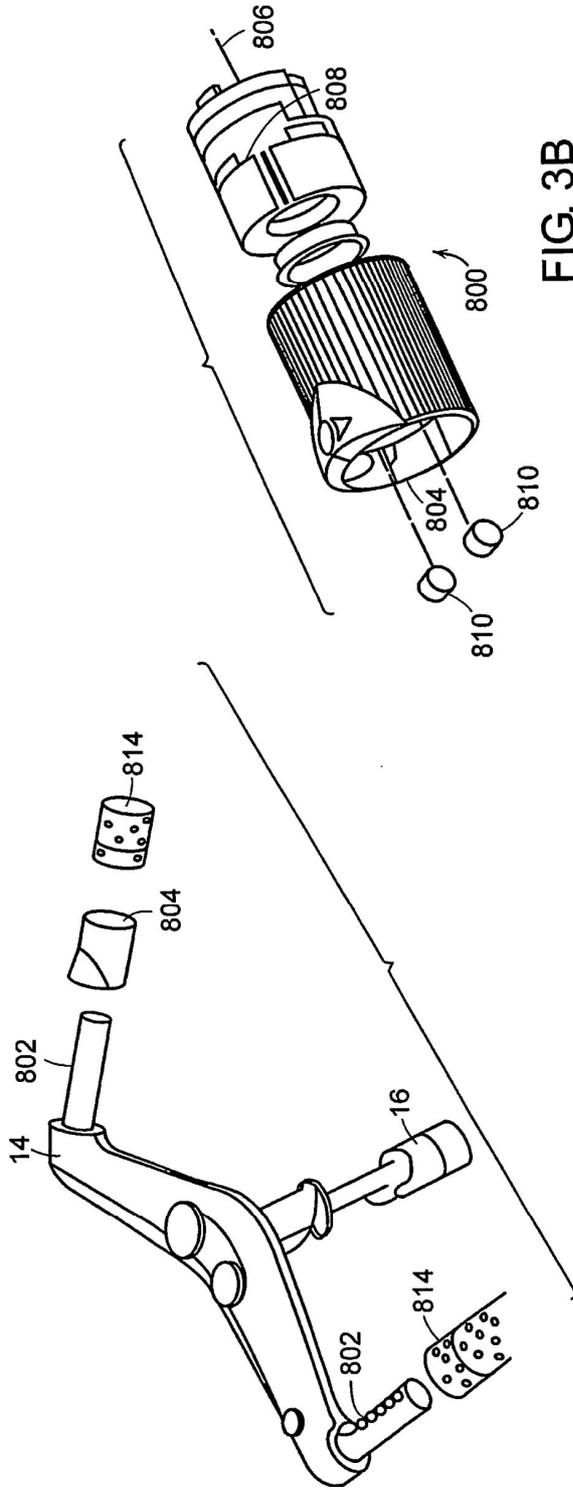


FIG. 3B

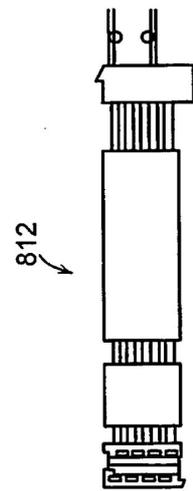


FIG. 3C



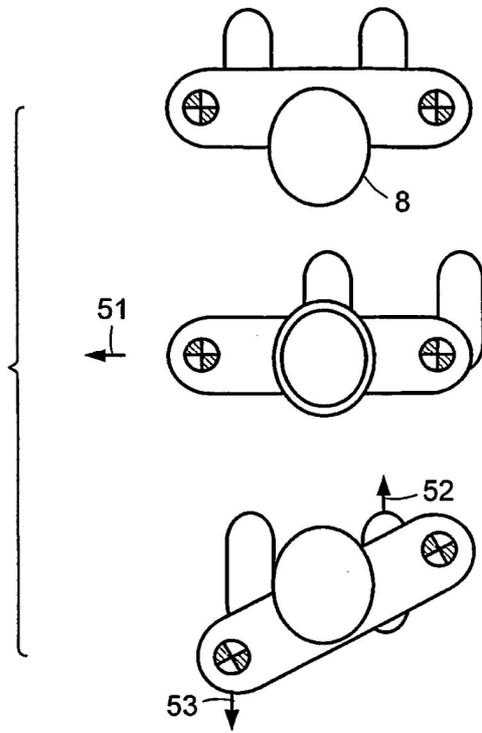


FIG. 5A

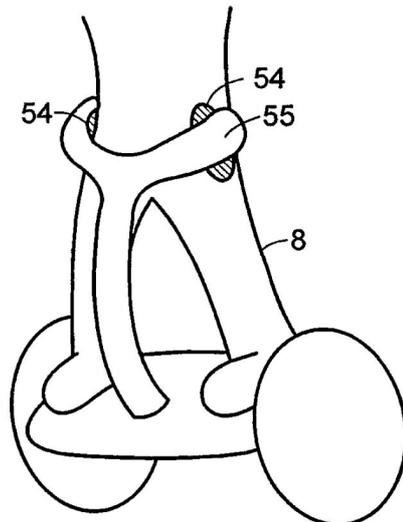


FIG. 5B

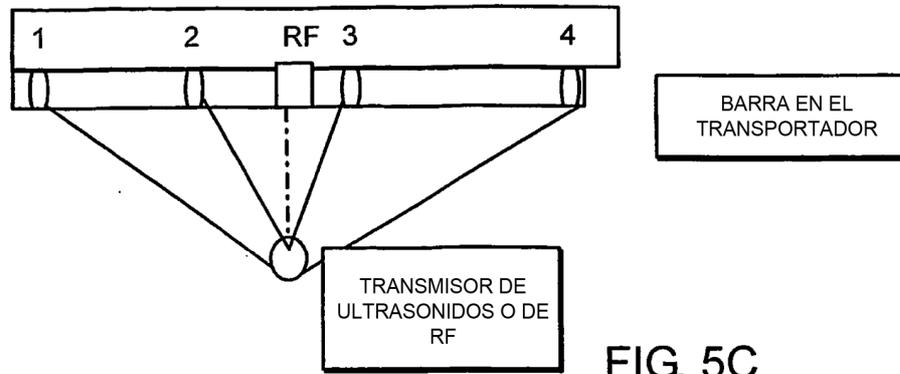


FIG. 5C

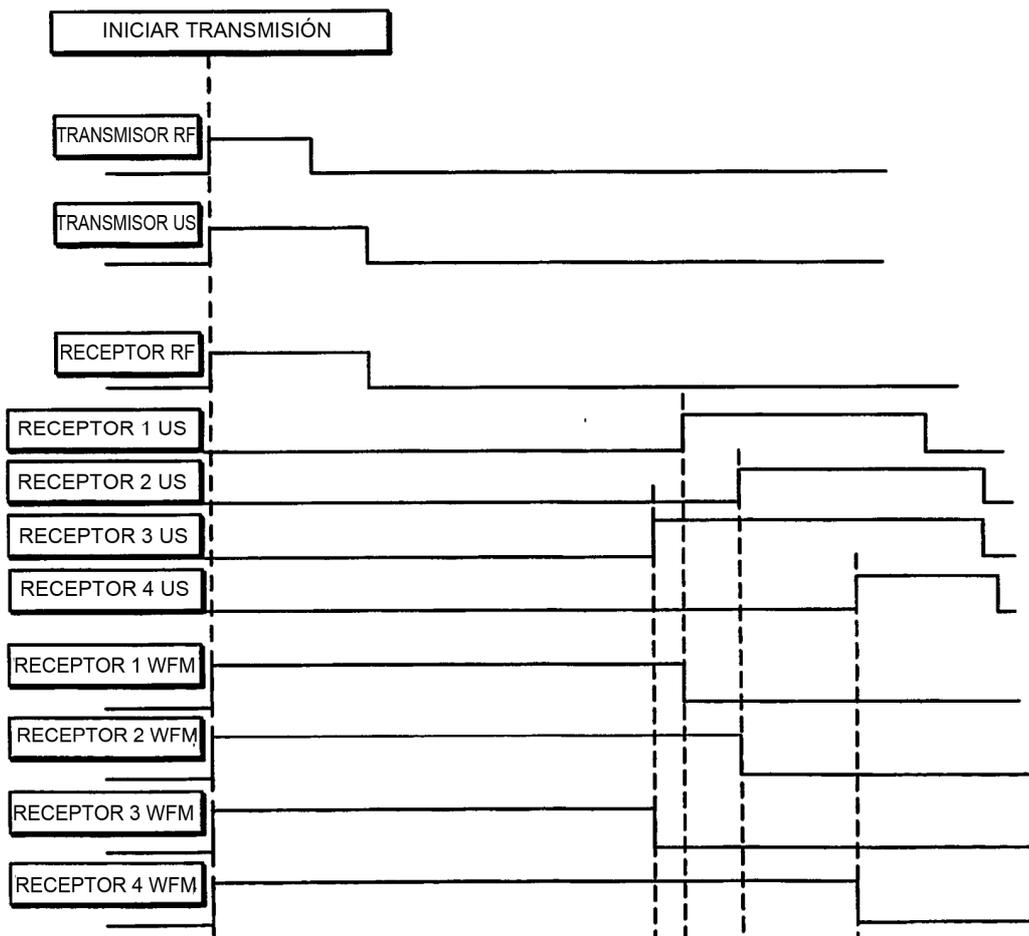


FIG. 5D

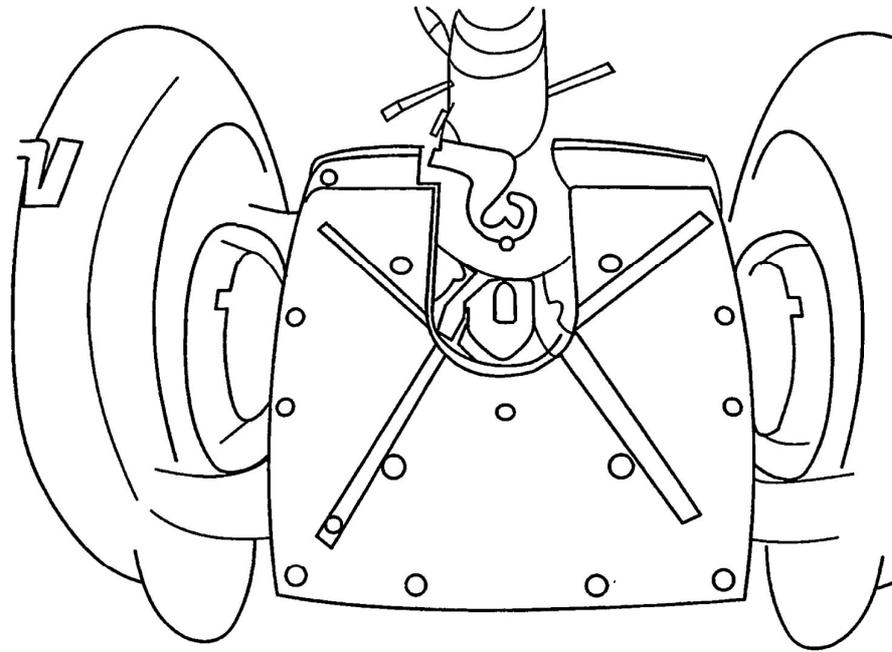


FIG. 6A

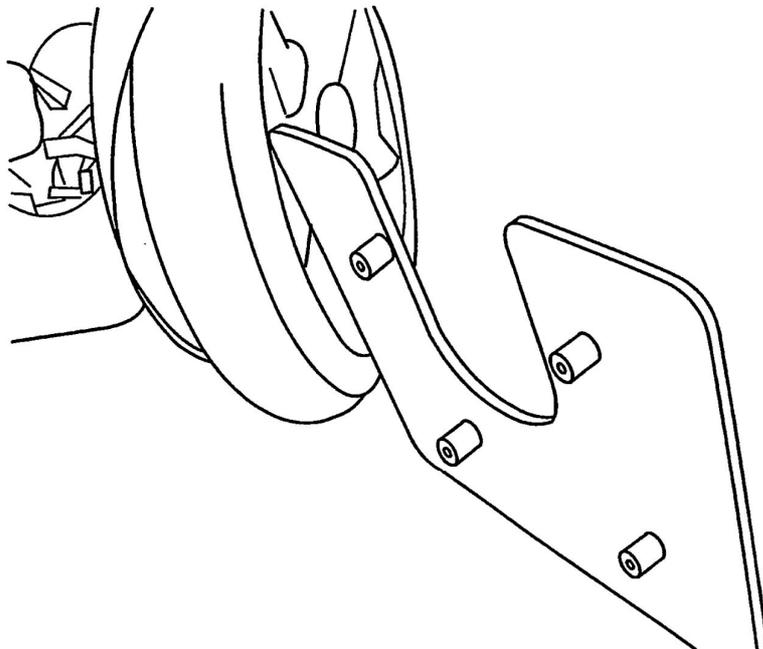


FIG. 6B

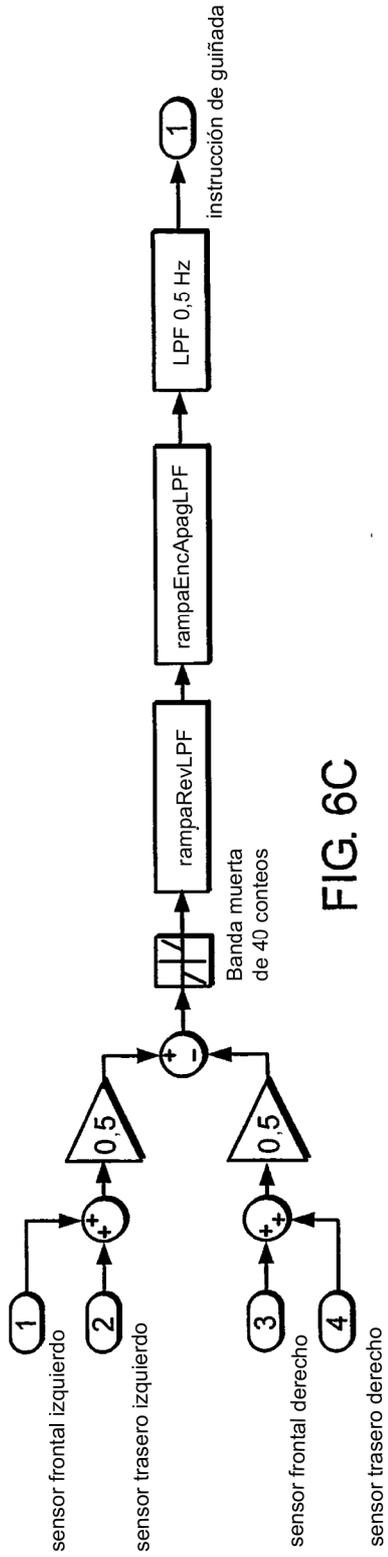


FIG. 6C

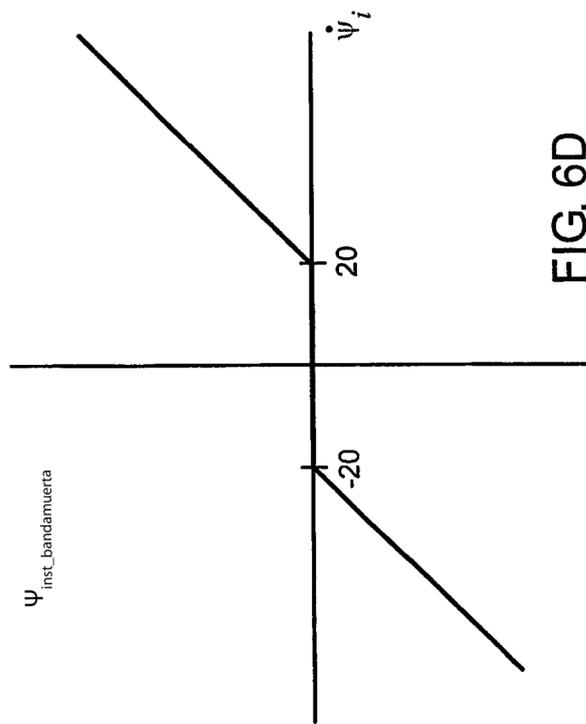


FIG. 6D

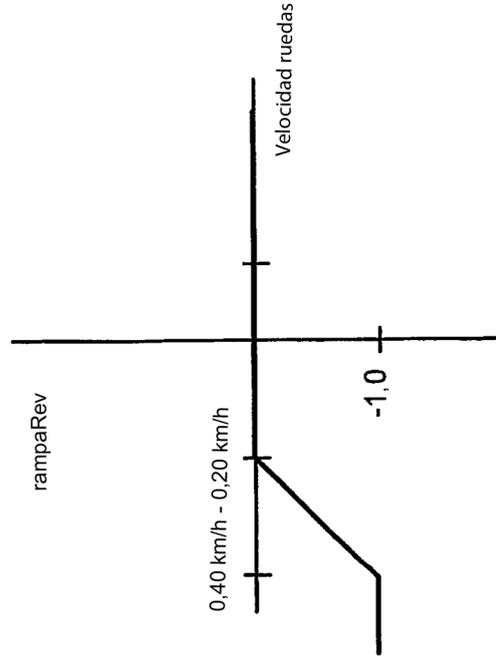


FIG. 6E

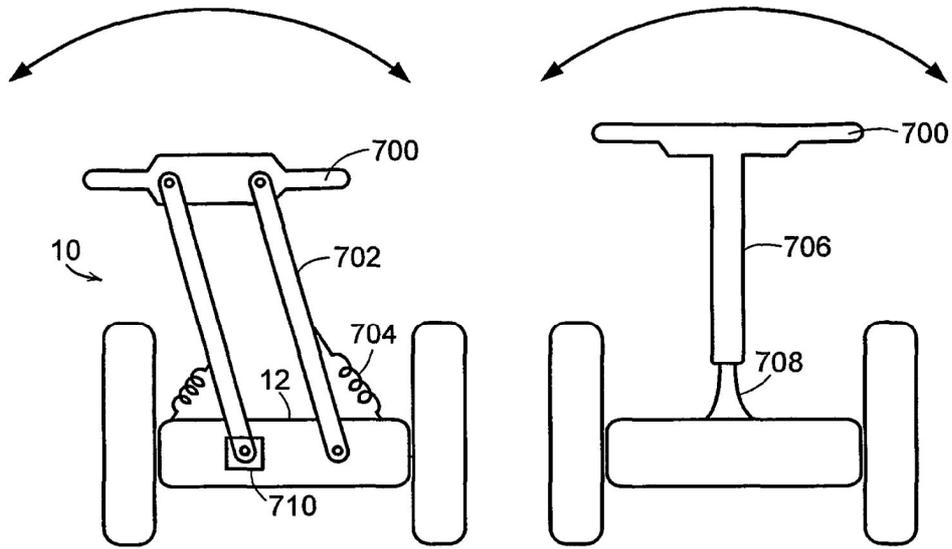


FIG. 7A

FIG. 7B

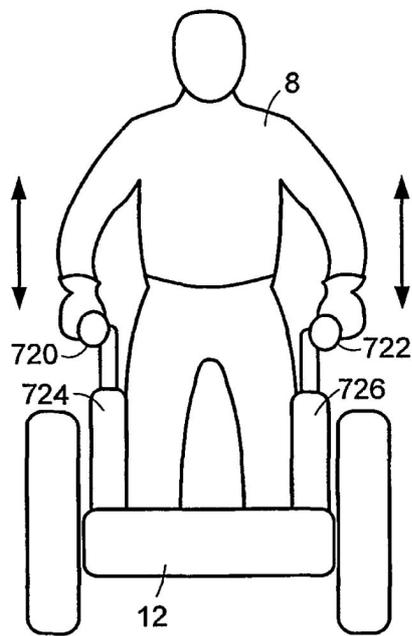


FIG. 7C

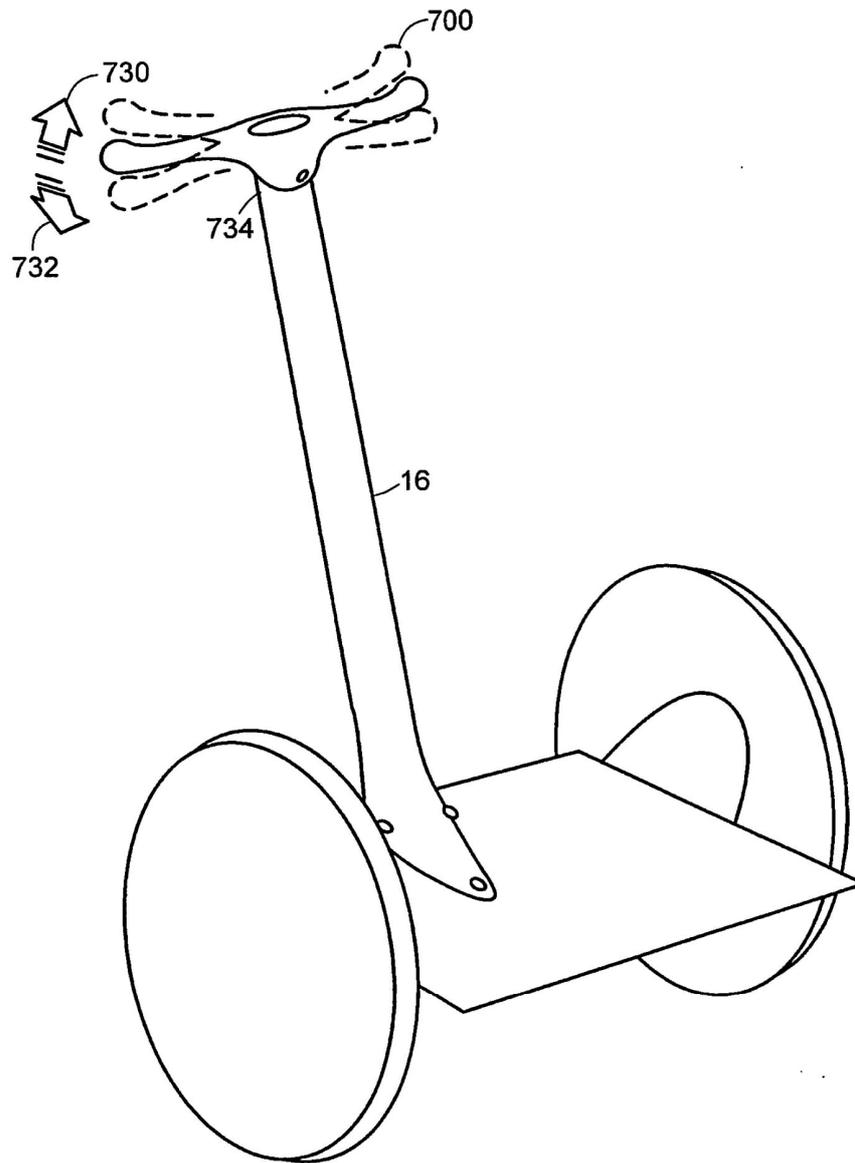


FIG. 7D

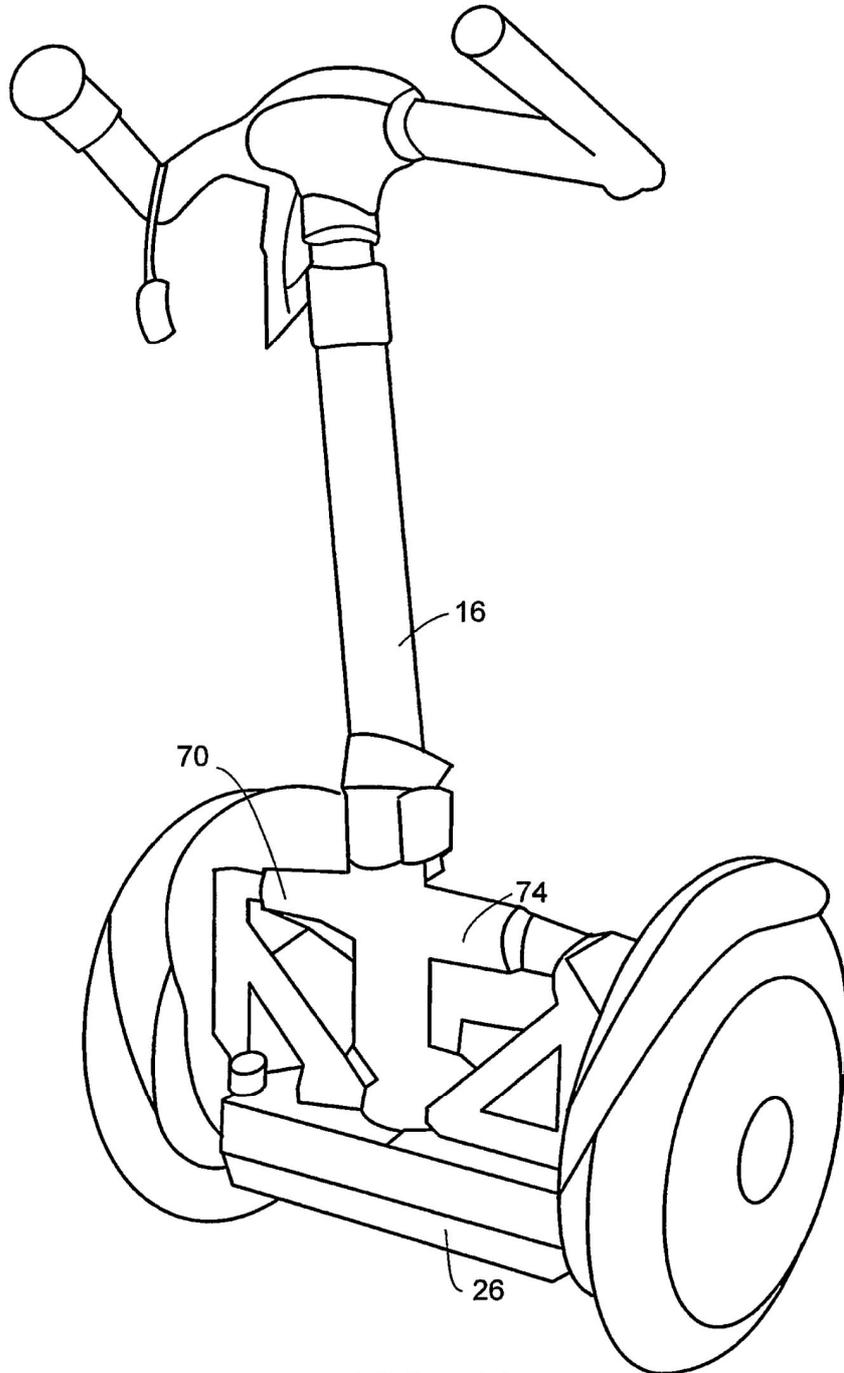


FIG. 7E

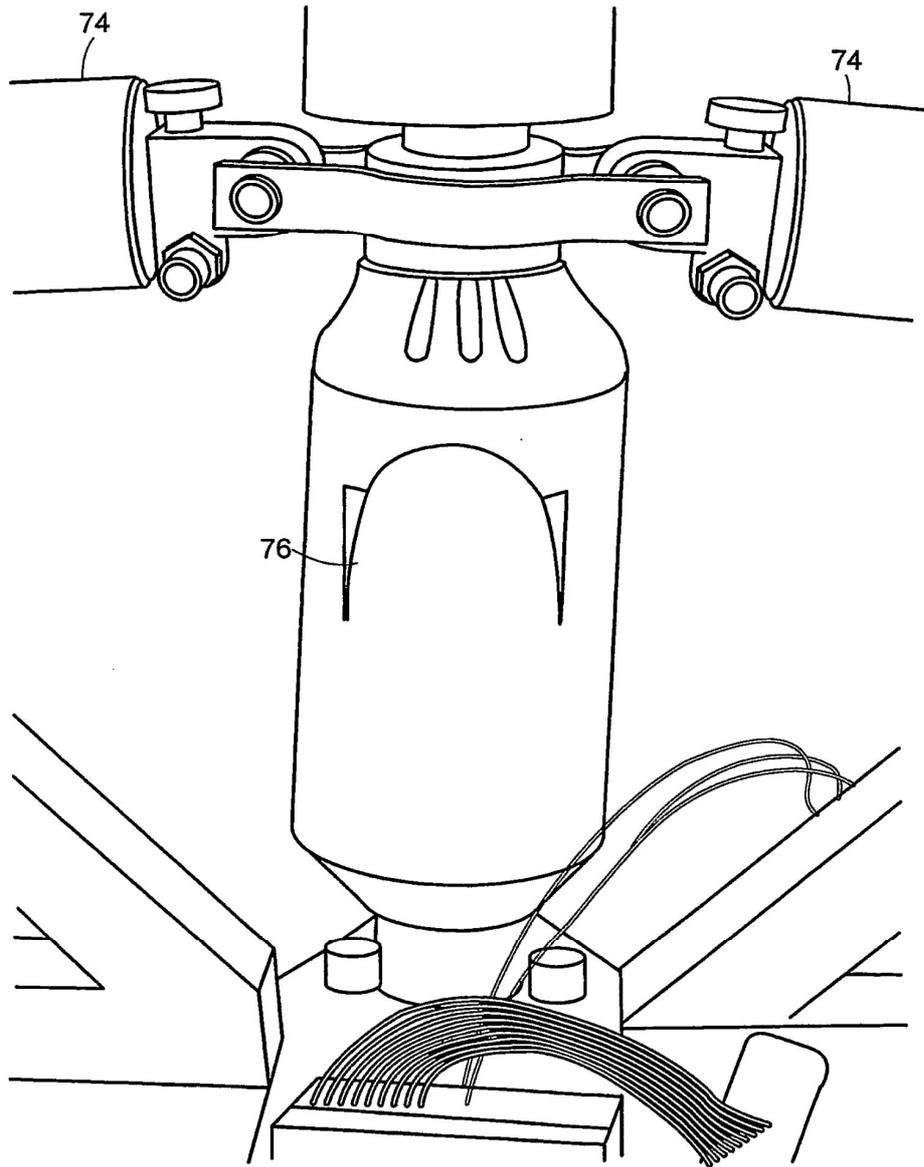


FIG. 7F

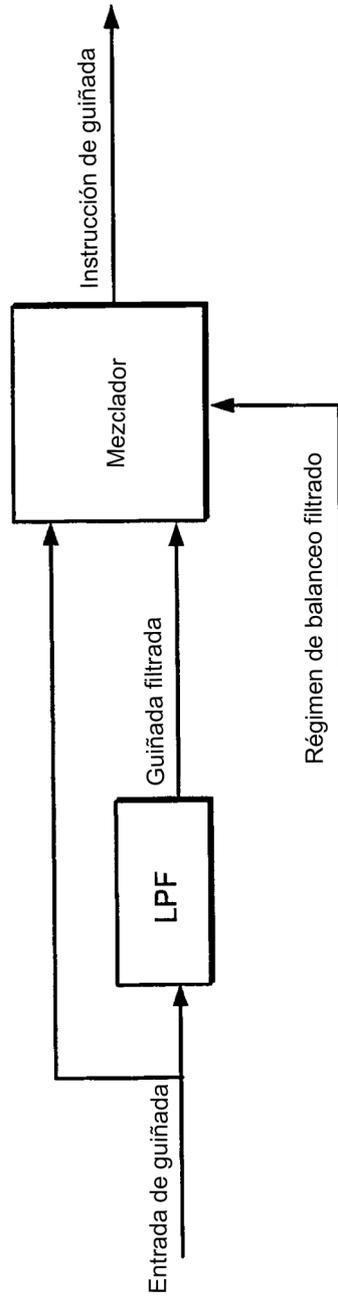


FIG. 7G

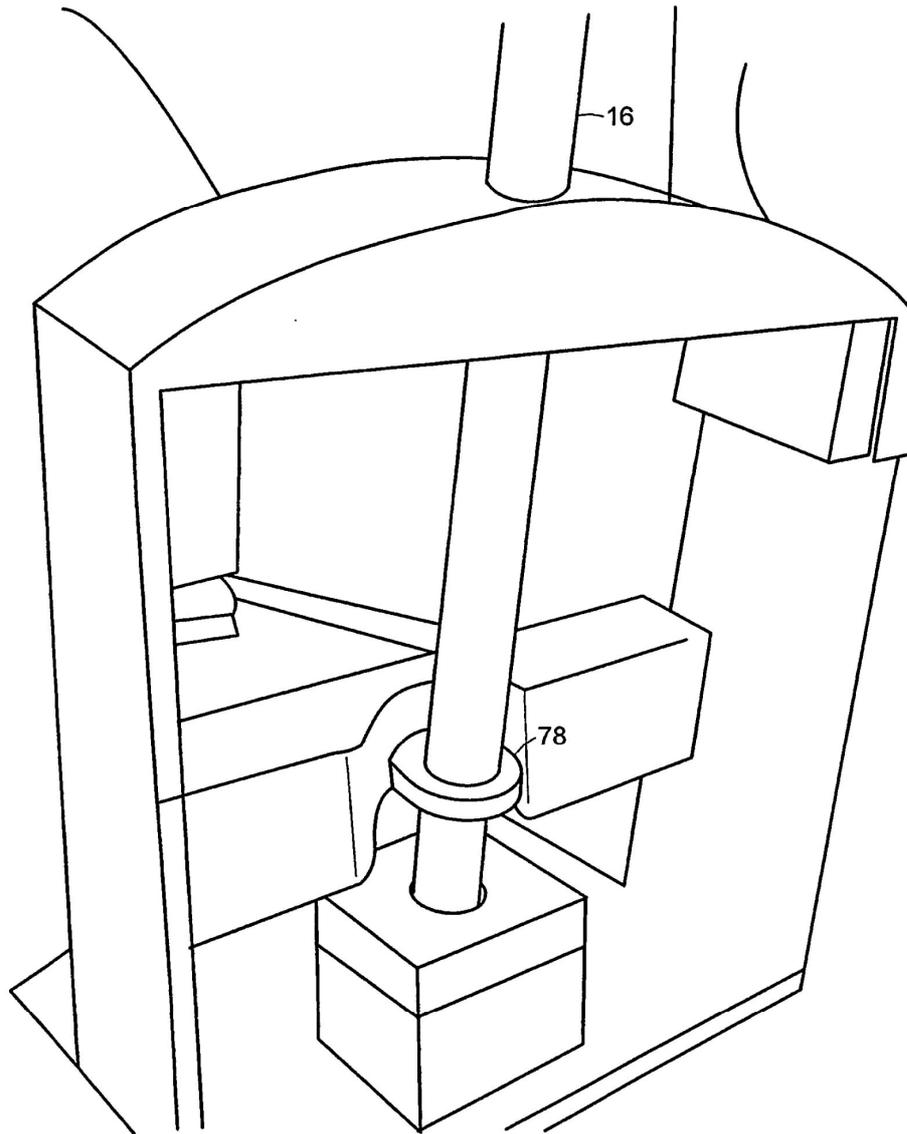


FIG. 7H

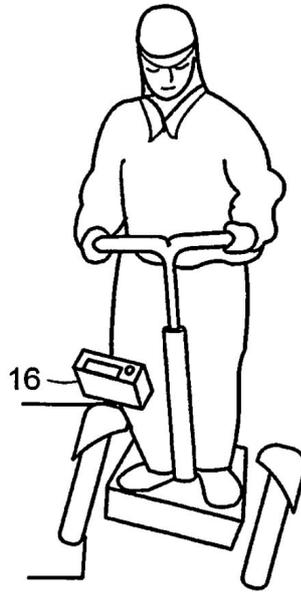


FIG. 8A



FIG. 8B



FIG. 8C

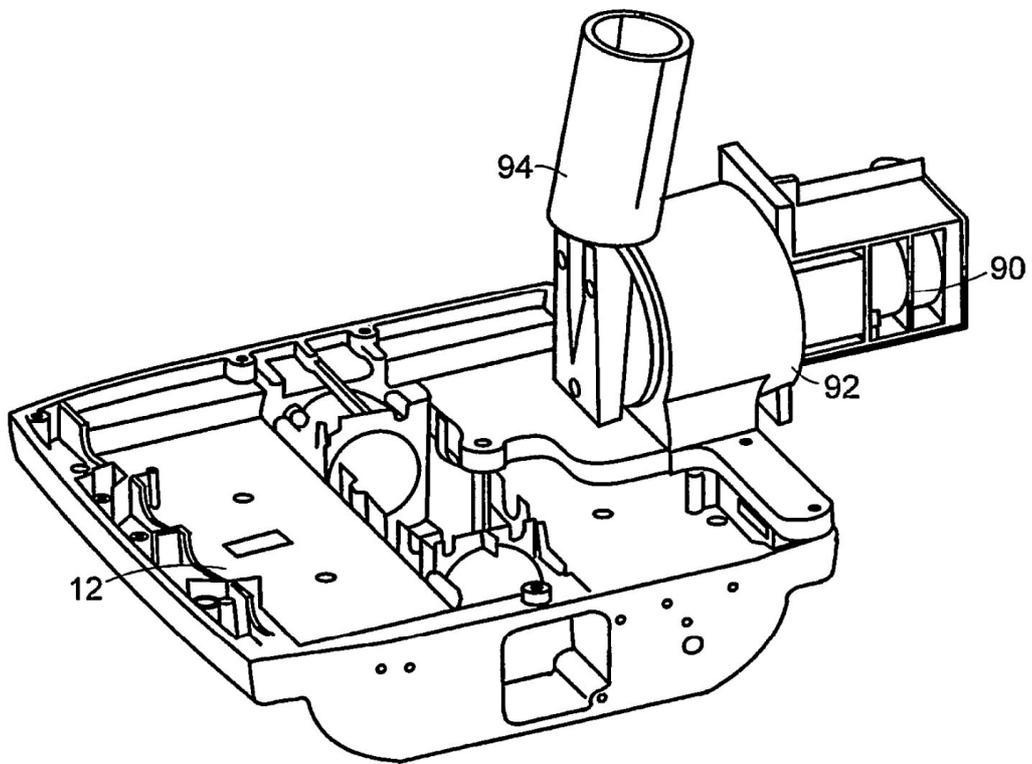


FIG. 9A

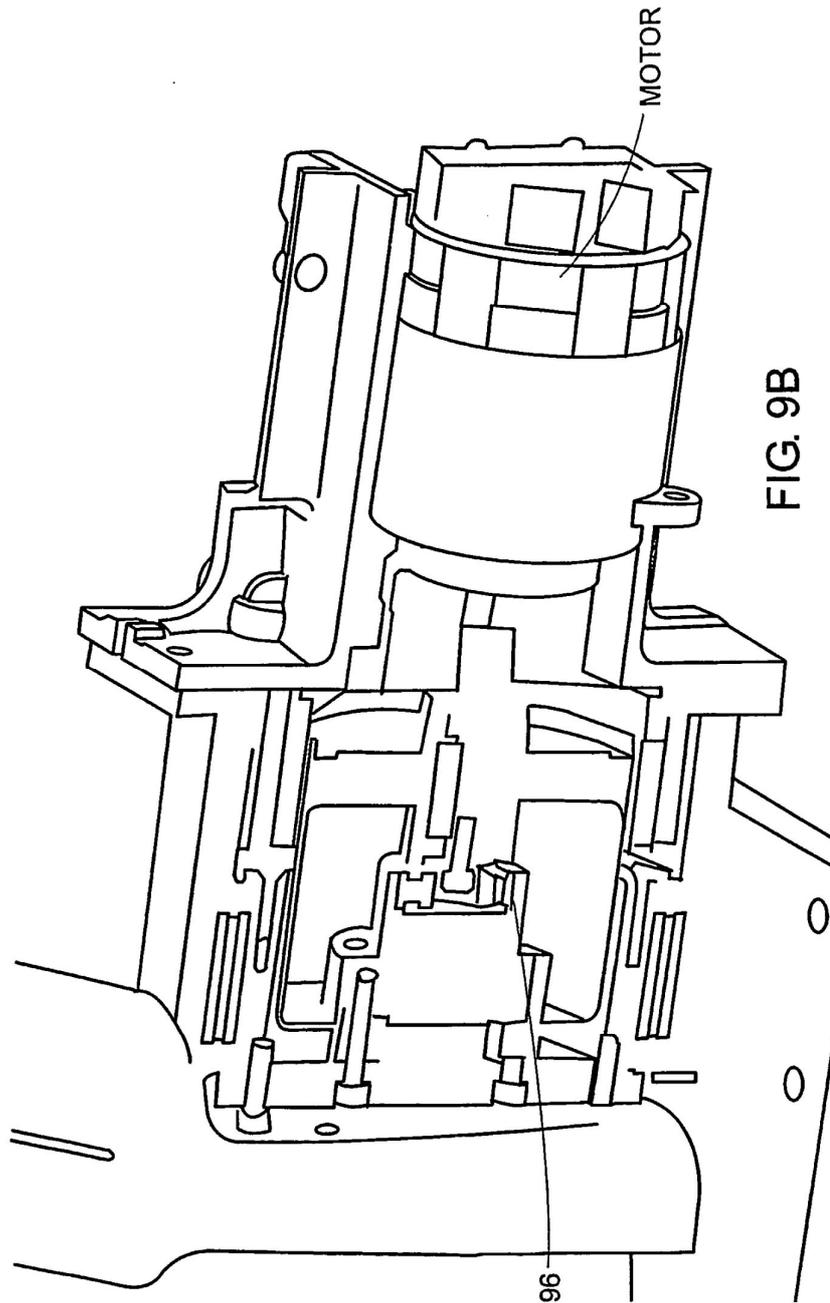
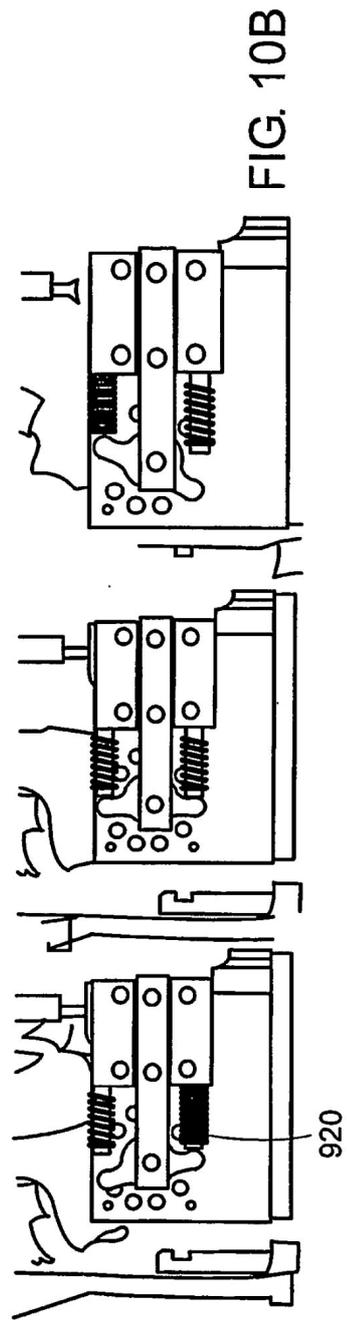
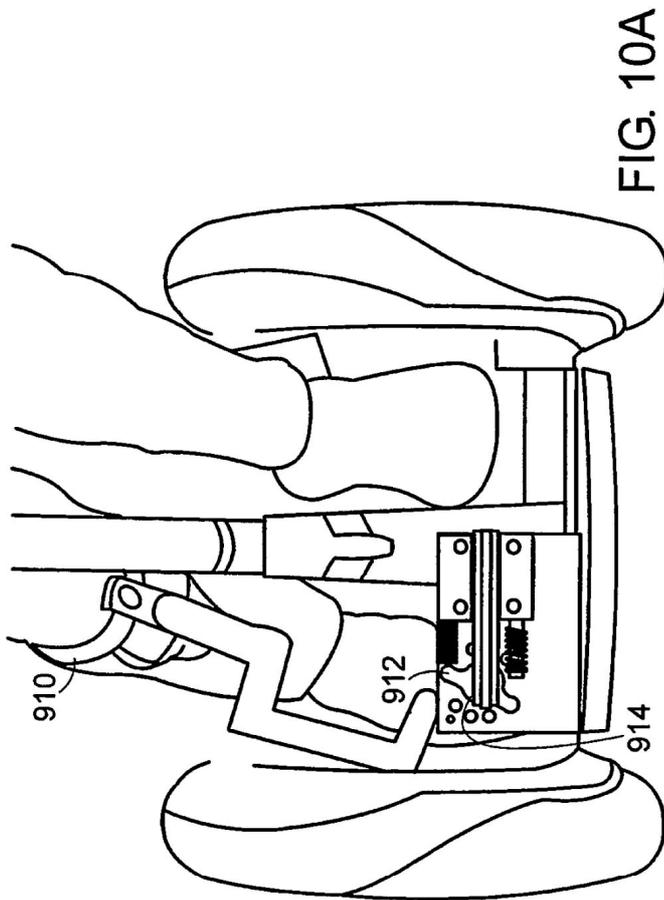


FIG. 9B



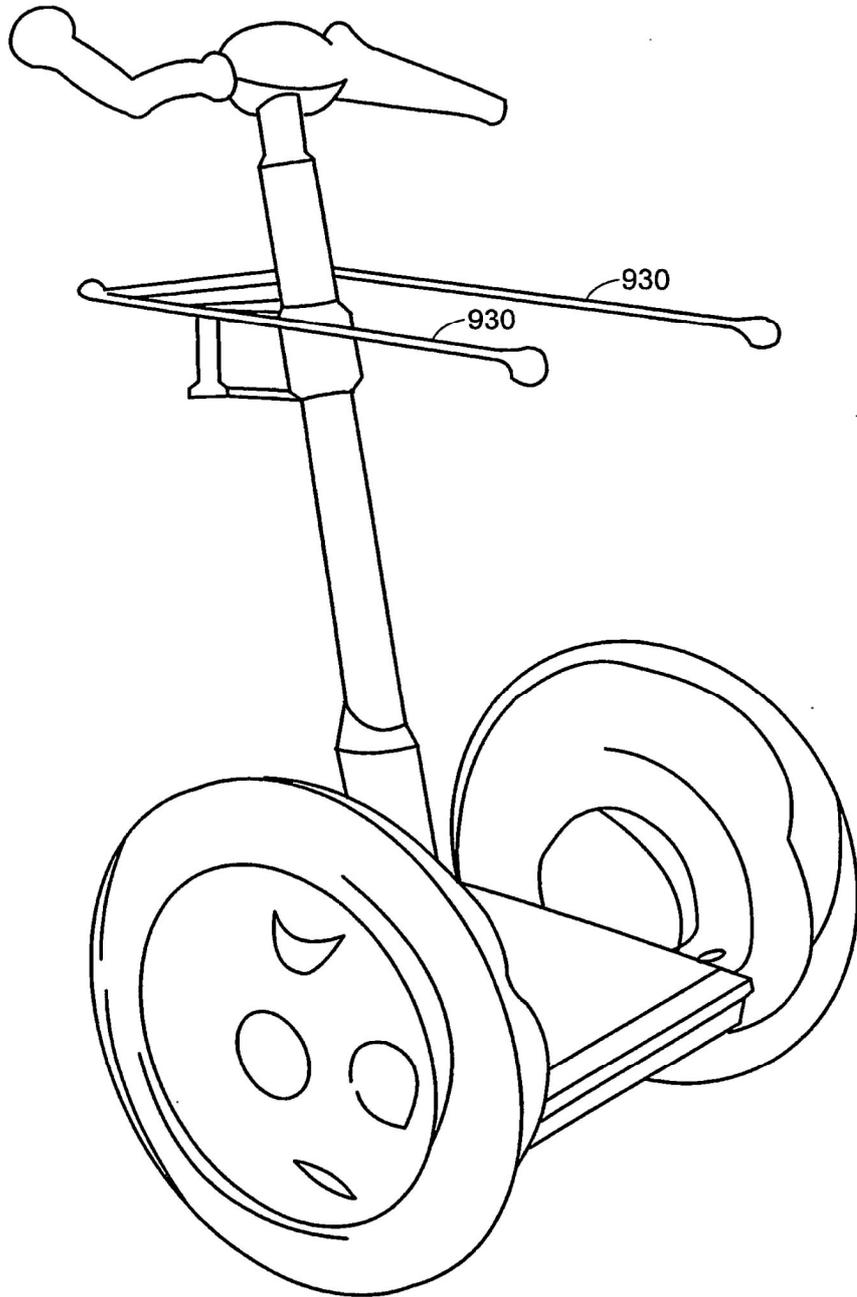


FIG. 10C

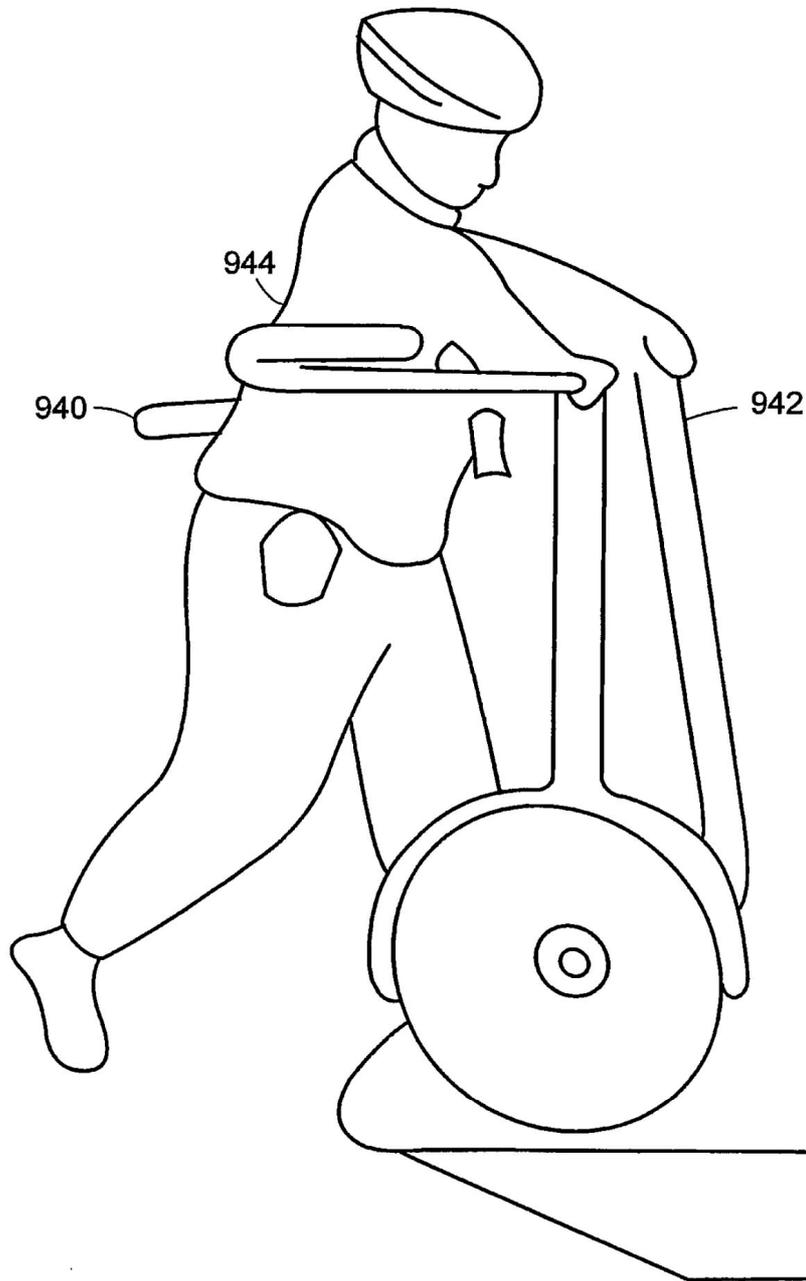


FIG. 10D

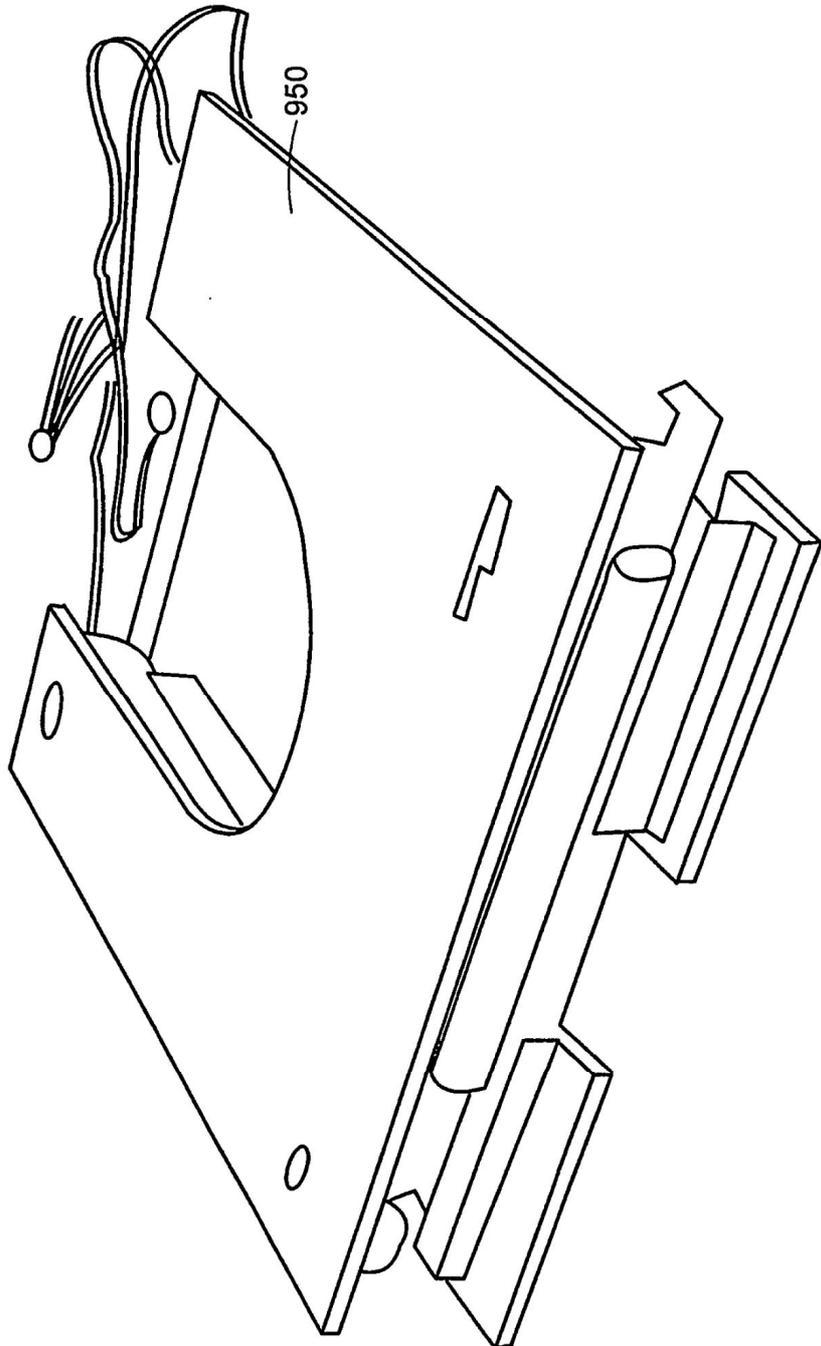


FIG. 11