

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 980 211**

51 Int. Cl.:

B25J 11/00 (2006.01)

B25J 5/00 (2006.01)

B62D 7/14 (2006.01)

B64F 5/30 (2007.01)

B08B 1/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.08.2018 PCT/SE2018/050833**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.02.2019 WO19039988**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.08.2018 E 18848941 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2024 EP 3668688**

54 Título: **Robot de limpieza de aeronaves**

30 Prioridad:

20.08.2017 SE 1751008

19.09.2017 SE 1751160

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

30.09.2024

73 Titular/es:

NORDIC AEROWASH EQUIPMENT AB (100.0%)

Hammarby Fabriksväg 23

120 30 Stockholm, SE

72 Inventor/es:

LARSSON, ANDERS y

ÅBERG, JOHAN

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 980 211 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

Robot de limpieza de aeronaves

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un robot de limpieza de aeronaves.

5 Antecedentes de la invención

Una aeronave que tiene una superficie sucia o poco lisa consume sustancialmente más combustible que una aeronave limpia y pulida. De ahí la importancia de que las aeronaves se mantengan limpias y pulidas. Típicamente, las aeronaves se limpian y pulen utilizando una máquina de limpieza proporcionada con un brazo grúa controlado por un operario capaz de alcanzar todas las partes de una aeronave grande que se desea limpiar, y un cabezal de limpieza acoplado en un extremo distal del brazo para limpiar y pulir la aeronave. El documento US5833762 sugiere cómo un operario puede estacionar un robot de limpieza de aeronaves en relación con unas marcas de referencia en un campo de estacionamiento, y se pueden seleccionar diferentes programas de movimiento predeterminados del brazo robótico, definidos por conjuntos consecutivos de posiciones de las articulaciones del brazo robótico, con base en la posición del robot en relación con las marcas de referencia. El brazo robótico se calibra asociando conjuntos de posiciones de las articulaciones del brazo robótico con puntos en el espacio los cuales se obtienen utilizando un escáner láser 3D. Otro ejemplo lo proporciona EP 0 404 684 A1, la cual propone un cepillo giratorio el cual se adapta al contorno de la aeronave y sigue la superficie con una presión de cara prescrita. Aún otro ejemplo lo ofrece DE 27 01 823 A1, que divulga un robot de limpieza de aeronaves que funciona sobre una plataforma móvil la cual es guiada de forma electroóptica.

20 La calibración y el posicionamiento llevan mucho tiempo, y es difícil mover un brazo robótico con alta precisión y velocidad simultáneamente en una situación en donde una colisión puede causar daños sustanciales. Además, cada hora de parada de una aeronave representa una pérdida sustancial de ingresos. De ahí la necesidad de una forma más rápida y segura de limpiar una aeronave.

Resumen de la invención

25 Es objeto de la presente invención resolver, o al menos mitigar, parte o la totalidad de los problemas mencionados. Para ello, se proporciona un robot de limpieza de aeronaves tal como se define en la reivindicación 1. Las posibles realizaciones se definen en las reivindicaciones dependientes. Un robot de limpieza de este tipo aumenta la velocidad y la precisión con las cuales puede limpiarse una aeronave, ya que el cabezal de limpieza puede seguir carreras paralelas y horizontales con un mínimo de solapamiento. Si la distancia entre el portador móvil y la superficie a limpiar cambia, el robot de limpieza tendrá que ajustar el brazo robótico para mantener la presión de acoplamiento de limpieza correcta contra la superficie a limpiar. La capacidad de operar automáticamente diversas articulaciones del brazo robótico, y no sólo, por ejemplo, la más distal, en respuesta a un cambio de distancia, permite mantener la elevación constante.

35 De acuerdo con una realización, dicha segunda articulación puede ser una articulación pivotante, y dicha primera articulación puede ser una articulación pivotante, una articulación giratoria, o una articulación telescópica.

40 De acuerdo con algunas realizaciones, el portador móvil está proporcionado con un conjunto de ruedas delanteras y un conjunto de ruedas posteriores, y el controlador está configurado para controlar la posición del cabezal de limpieza en relación con el vehículo móvil mediante el brazo robótico, y para conducir el vehículo móvil a lo largo de una aeronave que se va a limpiar, en donde cada uno de los conjuntos de ruedas delanteras y el conjunto de ruedas posteriores son dirigibles, y el controlador está configurado para controlar el ángulo de dirección de los conjuntos de ruedas delanteras y posteriores. Gracias a que tanto las ruedas delanteras como las posteriores son dirigibles, la posición y el rumbo del portador móvil con respecto a la aeronave que se va a limpiar pueden ajustarse fácilmente sin una traslación sustancial del portador móvil a lo largo de la aeronave. Esto puede reducir el tiempo necesario para colocar el robot de limpieza de aeronaves en una posición inicial de limpieza, así como el tiempo total de limpieza.

45 Las ruedas dentro de cada conjunto de ruedas pueden ser individualmente dirigibles entre sí. Alternativamente, las ruedas dentro de cada conjunto de ruedas pueden estar acopladas entre sí para ser dirigidas a sustancialmente el mismo ángulo de dirección.

50 De acuerdo con una realización, el controlador puede estar configurado para dirigir cada uno de los conjuntos de ruedas delanteras y posteriores en la misma dirección. Esto facilita el desplazamiento lateral del portador móvil. Alternativa o adicionalmente, el controlador puede estar configurado para dirigir cada uno de los conjuntos de ruedas delanteras y posteriores en direcciones opuestas, lo cual reduce el radio de giro del portador móvil y permite así un control más preciso del robot de limpieza de aeronaves.

55 De acuerdo con una realización, el controlador puede estar configurado para dirigir cada uno de los conjuntos de ruedas delanteras y posteriores en la misma dirección a sustancialmente el mismo ángulo de dirección, permitiendo así la dirección de cangrejo del portador móvil.

5 El controlador puede estar configurado para controlar el ángulo de dirección de cada uno de los conjuntos de ruedas delanteras y posteriores durante la limpieza de la aeronave. De acuerdo con una realización, el controlador puede estar configurado para detectar un cambio en una distancia horizontal entre el portador móvil y la superficie a limpiar; y con base en dicho cambio detectado, dirigir el portador móvil para mantener un rumbo del portador móvil. Esto reduce el tiempo necesario para colocar el robot de limpieza de aeronaves en una posición de inicio de la limpieza, ya que puede reducirse la precisión del posicionamiento del robot de limpieza de aeronaves con respecto a la aeronave que se va a limpiar. El controlador puede, a modo de ejemplo, dirigir el portador móvil para mantener la distancia horizontal a una distancia objetivo, o dentro de un intervalo de distancia objetivo.

10 De acuerdo con algunas realizaciones, el controlador está configurado para controlar la posición del cabezal de limpieza en relación con el portador móvil mediante el accionamiento del brazo robótico, y para conducir el portador móvil a lo largo de una aeronave que se va a limpiar, a la vez que se limpia la aeronave, en donde el controlador está configurado para recibir una señal de distancia que indica un cambio de distancia entre el portador móvil y la aeronave; y con base en la señal de distancia recibida, dirigir el portador móvil para mantener una distancia constante entre el portador móvil y la aeronave. Por lo tanto, puede obtenerse una limpieza más rápida de la aeronave.

15 De acuerdo con una realización, el cabezal de limpieza y el portador móvil pueden estar interconectados a través de un conjunto de segmentos del brazo robótico y un conjunto de articulaciones, en donde la señal de distancia se basa en la posición de al menos una articulación de dicho conjunto de articulaciones.

20 De acuerdo con algunas realizaciones, el portador móvil es autopropulsado; el brazo robótico es móvil entre una posición de transporte contraída y una posición de trabajo extendida; y el controlador está configurado para controlar la posición del cabezal de limpieza en relación con el portador móvil operando el brazo robótico, y para conducir el portador móvil a lo largo de una aeronave que se va a limpiar, a la vez que se limpia la aeronave, en donde el controlador está configurado para recibir una señal de posición que indica si el brazo robótico está en la posición de transporte o en la posición de trabajo y, con base en la señal de posición, establecer una limitación de conducción del portador móvil. Por lo tanto, puede reducirse el tiempo necesario para limpiar una aeronave, manteniendo al mismo tiempo un alto nivel de seguridad. En particular, puede reducirse sustancialmente el tiempo necesario para mover el robot de limpieza de aeronaves entre los distintos segmentos de la aeronave que se van a limpiar, sin permitir por ello que el robot de limpieza de aeronaves realice operaciones peligrosas. La señal de posición puede leerse a partir de uno o diversos sensores que detectan la posición de uno o diversos segmentos del brazo robótico. Alternativamente, la señal de posición puede ser generada por un operario, que puede confirmar manualmente, por ejemplo, que el
30 brazo robótico se encuentra en posición de transporte.

De acuerdo con una realización, el establecimiento de una limitación de conducción puede comprender el establecimiento de una velocidad límite de posición de transporte, cuando se encuentra en posición de transporte, la cual es superior a una velocidad límite de posición de trabajo, cuando se encuentra en posición de trabajo. Cuando se conduce el portador móvil con el brazo robótico en posición de trabajo, el controlador puede estar configurado para impedir que se supere la velocidad límite de la posición de trabajo. Alternativamente, el controlador puede estar configurado para emitir una advertencia al operario si se supera la velocidad límite de la posición de trabajo, sin impedir que se supere.
35

De acuerdo con una realización, el establecimiento de una limitación de conducción puede comprender el establecimiento de un ángulo de dirección máximo de un conjunto de ruedas, en donde dicho ángulo de dirección máximo es mayor en posición de transporte que en posición de trabajo.
40

De acuerdo con realizaciones, el robot de limpieza de aeronaves comprende un portador móvil autopropulsado, proporcionado con un primer conjunto de ruedas y un segundo conjunto de ruedas; y el controlador está configurado para controlar la posición del cabezal de limpieza en relación con el portador móvil operando el brazo robótico, y para conducir el portador móvil a lo largo de una aeronave a limpiar, en donde el controlador está configurado para recibir una señal de velocidad que indica la velocidad del portador móvil; recibir una señal de entrada de dirección de las ruedas procedente de una interfaz de usuario; y generar, con base en la señal de velocidad recibida y en la señal de dirección recibida, una señal de control de dirección de las ruedas para dirigir al menos uno de dichos conjuntos de ruedas. Generar la señal de control de dirección de las ruedas con base en la señal de velocidad permite adaptar la función de transferencia entre la señal de entrada de dirección de las ruedas y la señal de control de dirección de las ruedas a la velocidad actual, lo cual permite un control más fácil y preciso del vehículo móvil a todas las velocidades. Esto permite reducir el tiempo de limpieza manteniendo un alto nivel de seguridad. En particular, puede obtenerse una mayor velocidad de transporte del portador móvil sin perder precisión cuando se conduce lentamente.
45
50

De acuerdo con algunas realizaciones, el portador móvil es autopropulsado, y está proporcionado con un primer conjunto de ruedas y un segundo conjunto de ruedas; y el controlador está configurado para controlar la posición del cabezal de limpieza con respecto al portador móvil operando el brazo robótico, y para conducir el portador móvil a lo largo de una aeronave a limpiar, en donde el controlador está configurado para determinar una dirección de conducción, y con base en la dirección de conducción, determinar qué conjunto de ruedas actúa actualmente como ruedas delanteras y qué conjunto de ruedas actúa actualmente como ruedas posteriores, respectivamente; generar una señal de dirección de las ruedas delanteras para el conjunto de ruedas delanteras; y generar una señal de dirección de las ruedas posteriores para el conjunto de ruedas posteriores, en donde las señales de dirección de las
55
60

ruedas delanteras y posteriores son diferentes, es decir, representan ángulos de dirección diferentes. Por lo tanto, puede obtenerse un comportamiento de conducción simétrico en las direcciones de conducción hacia adelante y hacia atrás, aunque se deseen comportamientos diferentes de las ruedas delanteras y posteriores.

5 La generación de una señal de control de la dirección de las ruedas puede comprender: a una velocidad inferior, asociar la señal de entrada de la dirección de las ruedas a un ángulo de dirección relativamente mayor, y a una velocidad superior, asociar la señal de entrada de la dirección a un ángulo de dirección relativamente menor. Esto facilita el control del vehículo móvil a todas las velocidades. Una relación de conversión de la señal de entrada de dirección de la rueda al ángulo de dirección de la rueda posterior puede reducirse, con el aumento de la velocidad, más que una relación de conversión de la señal de entrada de dirección de la rueda al ángulo de dirección de la rueda delantera se reduce con el mismo aumento de la velocidad. Por lo tanto, a velocidades relativamente más altas, la dirección es manejada en mayor medida por las ruedas delanteras, lo cual aumenta la maniobrabilidad del portador móvil.

15 De acuerdo con las realizaciones, el brazo robótico tiene al menos un primer segmento de brazo, el cual está conectado al portador móvil a través de una primera articulación pivotante, y un segundo segmento de brazo, el cual está conectado al primer segmento de brazo a través de una segunda articulación pivotante; y el controlador está configurado para controlar la posición del cabezal de limpieza operando el brazo robótico, en donde el controlador está configurado para recibir una entrada de control, la entrada de control que indica una dirección de movimiento deseada del cabezal de limpieza; determinar, con base en dicha entrada de control y en una función de transferencia, una dirección de movimiento conjunta y una magnitud de movimiento respectivas de cada una de un conjunto de articulaciones que comprenden dichas primera y segunda articulaciones pivotantes para generar un movimiento del cabezal de limpieza en dicha dirección de movimiento deseada; y, con base en la dirección de movimiento y la magnitud de movimiento calculadas, operar simultáneamente cada articulación de dicho conjunto de articulaciones para mover el cabezal de limpieza en dicha dirección de movimiento deseada. El accionamiento directo de diversas articulaciones al mismo tiempo requiere una habilidad considerable, y el accionamiento consecutivo de las articulaciones respectivas da lugar a un movimiento lento e iterativo del cabezal de limpieza. Gracias a la conversión de la entrada de control mediante una función de transferencia, por ejemplo, un operario puede mover el cabezal de limpieza sin tener en cuenta cómo mueve el cabezal de limpieza el accionamiento de cada articulación respectiva. Además, se pueden operar simultáneamente diversas articulaciones con base en una sola entrada del operario. La función de transferencia puede convertir una entrada de control que indique una única dirección deseada para el cabezal de limpieza en una pluralidad de señales de control, para el control simultáneo de una pluralidad de articulaciones, para mover el cabezal de limpieza en dicha dirección deseada. La función de transferencia puede recibir, como entrada, las respectivas posiciones actuales de cada articulación de dicho conjunto de articulaciones, y generar dichas direcciones y magnitudes de movimiento con base en dichas posiciones actuales. El controlador puede estar dispuesto, por ejemplo, en el portador móvil. Alternativamente, puede estar dispuesto en una unidad de control separada, en comunicación con el portador móvil y el brazo robótico.

40 De acuerdo con una realización, la determinación de la dirección del movimiento y la magnitud del movimiento de las articulaciones respectivas puede comprender la determinación de las coordenadas actuales del cabezal de limpieza con base en la función de transferencia y las posiciones actuales del conjunto de articulaciones; la determinación de las coordenadas objetivo con base en la entrada de control; la determinación de una posición objetivo de cada articulación del conjunto de articulaciones con base en la función de transferencia y las coordenadas objetivo; y la determinación de la dirección del movimiento y la magnitud del movimiento de la articulación respectiva con base en las posiciones actual y objetivo de la articulación respectiva.

45 De acuerdo con una realización, dicha función de transferencia puede estar configurada para generar dicho movimiento del cabezal de limpieza a lo largo de una línea sustancialmente recta. Gracias a la conversión de la función de transferencia para operar simultáneamente múltiples articulaciones, una sola entrada del operario puede mover el cabezal de limpieza en línea recta, en lugar de a lo largo de coordenadas polares definidas por cada eje de articulación respectivo.

50 De acuerdo con una realización, dicha función de transferencia puede estar configurada para generar dicho movimiento del cabezal de limpieza a lo largo de un eje de un sistema de coordenadas alineado con una aeronave a limpiar. Por lo tanto, el operario puede mover fácilmente el cabezal de limpieza a lo largo de la superficie de la aeronave, sin tener que considerar cómo está orientado el robot de limpieza en relación con la aeronave. A modo de ejemplo, el sistema de coordenadas puede ser cartesiano; alternativamente, puede ser cilíndrico con el eje de coordenadas longitudinal alineado con el eje longitudinal de la aeronave.

55 De acuerdo con una realización, el controlador puede estar configurado para recibir dicha entrada de control de un operario a través de una interfaz de usuario. La interfaz de usuario puede comprender una palanca de control, un par de ejes ortogonales de los cuales corresponden a un par de ejes del sistema de coordenadas alineado con la aeronave que se va a limpiar.

60 De acuerdo con una realización, el controlador puede estar configurado para, con base en una instrucción para cambiar la dirección de movimiento del cabezal de limpieza, aumentar gradualmente un valor de control que determina la velocidad de pivote de una primera articulación de dicho conjunto de articulaciones, a la vez que disminuye

gradualmente un valor de control que determina la velocidad de pivote de una segunda articulación de dicho conjunto de articulaciones. Dicha operación reduce el balanceo del brazo robótico sin aumentar el tiempo de limpieza, ya que el movimiento simultáneo a lo largo de diversos grados de libertad permite un arranque y una parada suaves de cada articulación sin reducir la velocidad del movimiento global del cabezal de limpieza.

5 De acuerdo con las realizaciones, el brazo robótico tiene al menos un primer segmento de brazo, el cual está conectado al portador móvil a través de una primera articulación de pivote, y un segundo segmento de brazo, el cual está conectado al primer segmento de brazo a través de una segunda articulación de pivote; y el controlador está configurado para controlar la posición del cabezal de limpieza mediante el accionamiento del brazo robótico, en donde el controlador está configurado para, cuando el brazo robótico se encuentra en una posición colapsada tal como una
10 posición de transporte, recibir una señal de iniciación de un operario que indica que el cabezal de limpieza debe moverse a una posición de inicio de limpieza; y operar simultáneamente cada una de un conjunto de articulaciones que comprende la primera y la segunda articulaciones para mover el cabezal de limpieza a lo largo de una trayectoria predeterminada hasta una posición de inicio de limpieza adyacente a la superficie de la aeronave. Una vez alcanzada la posición de inicio de limpieza, el controlador puede detener el movimiento del cabezal de limpieza. Por lo tanto, el
15 brazo robótico puede desplegarse automáticamente para mover el cabezal de limpieza a lo largo de la trayectoria predeterminada hasta asumir la posición de inicio. Esto acorta el tiempo necesario para preparar el robot de limpieza para la limpieza, el cual suele repetirse para cada segmento de aeronave a limpiar. Desplegar manualmente el brazo robótico suele llevar mucho tiempo, y es muy difícil controlar cada articulación respectiva para mover el cabezal de limpieza a lo largo de la línea más corta/eficiente hasta la posición de inicio de la limpieza. Los movimientos de las articulaciones para obtener la trayectoria predeterminada pueden determinarse de antemano utilizando una función de transferencia como la descrita anteriormente, y leerse de la memoria de un ordenador cuando sea necesario. Alternativamente, los respectivos movimientos de las articulaciones pueden calcularse cuando sea necesario. Una vez alcanzada la posición de inicio de la limpieza, puede haber un espacio entre el cabezal de limpieza y la superficie a limpiar. Alternativamente, el robot de limpieza puede estar configurado para continuar a lo largo de dicha trayectoria predeterminada hasta que los sensores de presencia del cabezal de limpieza detecten que el cabezal de limpieza se ha acoplado a la superficie a limpiar, y detener el movimiento al detectar dicho acoplamiento. El controlador también puede estar configurado para mover cada articulación pivotante a lo largo de una trayectoria predeterminada respectiva en el espacio, para impedir que el brazo robótico golpee cualquier parte de la aeronave.

De acuerdo con una realización, el controlador puede estar configurado para seleccionar la trayectoria predeterminada con base en el tipo de aeronave y/o del segmento de aeronave. Para ello, el controlador puede estar configurado para recibir entradas del operario que identifiquen el tipo de aeronave y/o el segmento de aeronave a limpiar. Alternativa o adicionalmente, el controlador puede estar configurado para seleccionar la trayectoria predeterminada con base en la posición del portador móvil en relación con la aeronave. Por lo tanto, el cabezal de limpieza puede tomar la trayectoria más rápida hacia la posición de inicio de la limpieza teniendo en cuenta, por ejemplo, la ubicación de las alas y las
35 antenas. El controlador puede estar configurado para desplazar el cabezal de limpieza por la trayectoria más corta en segmentos de aeronave o posiciones de portador móvil libres de obstáculos. En otros segmentos de aeronave/posiciones de portador móvil, puede estar configurado para mover el cabezal de limpieza y/o las articulaciones del brazo robótico a lo largo de un desvío limitado respectivo alrededor de, por ejemplo, un ala, para llevarlo a la posición inicial. A modo de ejemplo, el controlador puede estar configurado para permitir al operario introducir información que identifique un segmento de la aeronave, y seleccionar la trayectoria predeterminada con base en la suposición de que el portador móvil está situado en una posición predeterminada con respecto a dicho segmento de la aeronave. Alternativamente, el robot de limpieza de aeronaves puede estar proporcionado con sensores configurados para detectar la posición del portador móvil en relación con la aeronave, y la trayectoria predeterminada puede calcularse con base en un modelo tridimensional de la aeronave.

45 De acuerdo con una realización, el controlador puede estar configurado para interrumpir dicho movimiento predeterminado en caso de que se desactive un interruptor de hombre muerto. A modo de ejemplo, el interruptor de hombre muerto puede configurarse como un botón que debe ser pulsado por un operario para mantener el cabezal de limpieza en movimiento. El controlador puede configurarse para reanudar el movimiento en cuanto se vuelva a acoplar el interruptor de hombre muerto.

50 De acuerdo con una realización, dicho conjunto de articulaciones para el control simultáneo puede comprender además una articulación giratoria entre la primera articulación pivotante y el portador móvil. La articulación giratoria puede estar configurada para girar el brazo robótico alrededor de un eje vertical.

De acuerdo con una realización, al menos uno de dichos segmentos primero y segundo del brazo robótico puede ser telescópico, definido por al menos dos subsegmentos telescópicos respectivos los cuales están interconectados por una articulación telescópica, es decir, prismática. Por lo tanto, el robot puede adoptar una configuración compacta, minimizando el volumen libre necesario para su funcionamiento, a la vez que permite limpiar aeronaves de gran tamaño. De acuerdo con una realización, dicho conjunto de articulaciones para el control simultáneo puede comprender dicha articulación telescópica.

60 De acuerdo con algunas realizaciones, el portador móvil es autopropulsado, y el brazo robótico tiene al menos un primer segmento de brazo, el cual está conectado al portador móvil a través de una primera articulación de pivote, y un segundo segmento de brazo, el cual está conectado al primer segmento de brazo a través de una segunda

- articulación de pivote; y el controlador está configurado para controlar la posición del cabezal de limpieza en relación con el portador móvil mediante el accionamiento del brazo robótico, y para conducir el portador móvil, en donde el controlador está configurado para mover el cabezal de limpieza en una dirección sustancialmente horizontal a lo largo de la aeronave, a la vez que limpia la aeronave; y determinar si se debe mover el cabezal de limpieza en la dirección horizontal mediante el accionamiento del brazo robótico, mediante el accionamiento del portador móvil a lo largo de la aeronave, o ambos. Por lo tanto, el robot de limpieza puede maximizar la velocidad de limpieza a la vez que se mueve a lo largo de secciones del cuerpo de la aeronave libres de obstáculos, conduciendo el portador móvil, a la vez que sigue siendo capaz de alcanzar, por ejemplo, posiciones por encima de las alas operando el brazo robótico. La dirección sustancialmente horizontal puede ser sustancialmente paralela al eje longitudinal del cuerpo de la aeronave.
- 5 De acuerdo con una realización, dicha determinación puede basarse en una ruta de limpieza predeterminada del cabezal de limpieza. La determinación puede basarse en instrucciones de conducción almacenadas en la memoria de un ordenador, para seguir una trayectoria predeterminada asociada, por ejemplo, a una aeronave o a un segmento de aeronave. Por lo tanto, puede garantizarse que se limpien todas las partes relevantes de la aeronave y que ninguna parte se limpie más de lo necesario.
- 10 De acuerdo con una realización, el controlador puede estar configurado para recibir una entrada del operario que identifique el tipo de aeronave y/o una identidad de segmento de aeronave; y realizar dicha determinación con base en dicha entrada del operario. Alternativamente, el tipo de aeronave y el segmento pueden ser identificados automáticamente por el robot de limpieza. Dicha identificación automática puede obtenerse, por ejemplo, mediante el robot de limpieza de aeronaves que incluye un lector RFID, y las diferentes aeronaves y/o segmentos de aeronaves que están proporcionados con etiquetas RFID únicas legibles por el lector RFID.
- 15 De acuerdo con una realización, el controlador puede estar configurado para mover el cabezal de limpieza con base en la entrada continua del operario. A modo de ejemplo, el controlador puede estar configurado para mantener el movimiento a la vez que esté activado un interruptor de hombre muerto. Alternativamente, el controlador puede estar configurado para generar, con base en dicha determinación, instrucciones de conducción a un operario, y para recibir órdenes de control del operario. Aún de forma alternativa, el controlador puede estar configurado para mover de forma autónoma el cabezal de limpieza a lo largo de una trayectoria predeterminada sin la intervención del operario.
- 20 De acuerdo con la invención, el cabezal de limpieza está proporcionado con un detector del ángulo de acoplamiento de cepillo configurado para detectar un ángulo de acoplamiento de cepillo entre una cara de cepillado del cepillo y la superficie que se va a cepillar; y el controlador está configurado para controlar la orientación del cabezal de limpieza con base en el ángulo de acoplamiento de cepillo detectado. Al controlar el cabezal de limpieza con base en la información del detector del ángulo de acoplamiento de cepillo, puede obtenerse una limpieza más rápida de la aeronave, ya que el cepillo puede estar siempre alineado correctamente con la superficie a limpiar, independientemente de la posición del brazo robótico. El controlador puede controlar el cabezal de limpieza para mantener el ángulo de acoplamiento de cepillo detectado por debajo de un valor límite. Un valor límite de ejemplo puede estar comprendido entre 2° y 15°. Alternativamente, el controlador puede operar un bucle de retroalimentación que apunte a un valor de consigna para el ángulo de acoplamiento de cepillo de, por ejemplo, 0°.
- 25 De acuerdo con una realización, la cara de cepillado puede estar orientada en una dirección radial del eje de rotación del cepillo. El cepillo puede ser cilíndrico circular alrededor del eje de rotación del cepillo.
- 30 De acuerdo con una realización, la disposición de sensores puede comprender al menos dos sensores de distancia los cuales están separados axialmente con respecto al eje de rotación del cepillo. A modo de ejemplo, los sensores pueden estar configurados como una pluralidad de sondas, las cuales están configuradas para acoplarse a la superficie que se va a limpiar.
- 35 Una presión de acoplamiento de cepillo puede estar representada, por ejemplo, por la fuerza aplicada por el brazo robótico en la dirección de limpieza, por la distancia entre el eje de rotación del cepillo y la superficie que se está limpiando, o por la potencia necesaria para hacer girar el cepillo. De acuerdo con una realización, el controlador puede estar configurado para operar el brazo robótico con el fin de aplicar una presión de acoplamiento de cepillo predeterminada en la dirección de limpieza determinada. La presión predeterminada de acoplamiento de cepillo puede corresponder, por ejemplo, a un valor de punto fijo de un bucle de control. El controlador puede estar configurado para operar el brazo robótico en la dirección de limpieza determinada. La orientación automática del cepillo puede ser pasiva, utilizando, por ejemplo, una articulación giratoria pasiva del cepillo o una articulación pivotante la cual, cuando el cepillo se acopla a la aeronave, adopta de forma flexible la posición correcta de tal manera que la cara de limpieza del cabezal de limpieza se alinea con la superficie que se está cepillando. Alternativamente, la orientación automática del cepillo puede ser activa, es decir, el controlador puede estar configurado para controlar activamente también la orientación del cabezal de limpieza, por ejemplo controlando activamente una junta pivotante del cepillo. La información procedente del brazo robótico y/o del cabezal de limpieza, a partir de la cual se determina la dirección de limpieza, puede comprender información que represente la geometría de las articulaciones y los segmentos del brazo robótico, lo que permite determinar la posición del cabezal de limpieza con respecto a la aeronave. La presión de acoplamiento de cepillo puede controlarse con base en un bucle de retroalimentación, en donde el movimiento del brazo robótico se controla con base en una presión de acoplamiento de cepillo detectada. La presión de acoplamiento de cepillo puede detectarse, a modo de ejemplo, utilizando, por ejemplo, el detector del ángulo de acoplamiento de
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

5 cepillo descrito anteriormente; detectando un par de torsión en una o diversas articulaciones del brazo robótico; o determinando la resistencia a la rotación del cepillo, por ejemplo, midiendo la corriente eléctrica consumida por un motor de rotación del cepillo para una determinada velocidad de rotación. El controlador puede estar configurado para determinar la dirección de limpieza con base en la posición de cada una de una pluralidad de articulaciones del brazo robótico. Dicha entrada del brazo robótico y/o del cabezal de limpieza puede recibirse del brazo robótico como tal, o del controlador con base en una representación de, por ejemplo, la posición actual del brazo robótico en el controlador. El funcionamiento del brazo robótico en la dirección de limpieza determinada puede basarse, por ejemplo, en una función de transferencia tal como se define en el presente documento, cuya función de transferencia convierte la dirección de limpieza en una pluralidad de señales de control para el control simultáneo de una pluralidad de articulaciones.

10 De acuerdo con una realización, el controlador puede estar configurado para generar datos de limpieza para su almacenamiento, los datos de limpieza comprenden una presión de acoplamiento de cepillo y/o un tiempo de acoplamiento de cepillo para cada una de una pluralidad de posiciones del cabezal de limpieza. Cada una de dichas posiciones del cabezal de limpieza puede estar asociada a una porción respectiva de la superficie a limpiar. Por lo tanto, el robot de limpieza de aeronaves permite verificar, tras la limpieza, en qué medida se ha limpiado realmente cada porción de la superficie a limpiar, y cualquier porción que pueda haber recibido un tratamiento demasiado escaso puede identificarse fácilmente para, por ejemplo, limpiarla manualmente. Dicha pluralidad de posiciones del cabezal de limpieza puede comprender todas las posiciones en las cuales se detecte un acoplamiento entre el cepillo y la aeronave. Los datos de limpieza pueden almacenarse en una memoria situada en el robot de limpieza de aeronaves. Alternativamente, el controlador puede estar configurado para transmitir los datos de limpieza a una memoria remota.

15 De acuerdo con realizaciones, el portador móvil es autopropulsado, y el controlador es un primer controlador el cual funciona con base en los datos de un primer conjunto de sensores; en donde el robot de limpieza de aeronaves comprende además un segundo controlador configurado para monitorizar el brazo robótico y el cabezal de limpieza con base en los datos de un segundo conjunto de sensores el cual es, al menos en parte, diferente del primer conjunto de sensores; el segundo controlador está configurado para monitorizar una combinación medida de datos de sensores del segundo conjunto de sensores, determinar si la combinación medida corresponde a una combinación de datos que implica un riesgo y, en tal caso, desactivar o invertir las acciones de control del primer controlador. Un robot de limpieza de aeronaves de este tipo es robusto y seguro, a la vez que rentable.

20 De acuerdo con una realización, el segundo controlador puede estar configurado para clasificar si una combinación de datos del segundo conjunto de sensores es una combinación segura o una combinación insegura, e interferir con el primer controlador sólo en caso de una combinación insegura. Una disposición de este tipo puede permitir disponer de un conjunto de sensores precisos, de relativamente alta resolución, para controlar el robot con gran exactitud, y un conjunto de sensores a prueba de fallos para detectar condiciones peligrosas. El conjunto de sensores de alta resolución no tiene por qué ser a prueba de fallos, y el conjunto de sensores a prueba de fallos no tiene por qué proporcionar una resolución tan alta como el conjunto de sensores de resolución relativamente alta. Esto reduce el coste total del robot.

25 De acuerdo con una realización, dicha combinación de datos del segundo conjunto de sensores puede clasificarse con base en una tabla de búsqueda. Por lo tanto, puede obtenerse una detección muy rápida de las condiciones peligrosas. La tabla de búsqueda puede estar predefinida, y puede determinarse con base en la cadena cinemática del brazo robótico y/o de la geometría de la aeronave que se va a limpiar.

30 De acuerdo con una realización, el segundo controlador puede estar configurado para funcionar con base en un sensor de par de torsión que mide un par de torsión en el extremo proximal del brazo robótico. El par de torsión puede, por ejemplo, medirse en una articulación del brazo robótico.

35 De acuerdo con algunas realizaciones, el portador móvil es autopropulsado y está adaptado para desplazarse sobre una placa base en la cual se encuentra una aeronave que se va a limpiar; y el controlador está configurado para recibir primeros datos correspondientes a un sistema de coordenadas de la placa base, recibir segundos datos correspondientes a una geometría del tipo de aeronave de la aeronave que se va a limpiar, recibir terceros datos correspondientes al posicionamiento de la aeronave que se va a limpiar en relación con el sistema de coordenadas de la placa base, y mover el portador y el brazo robótico con base en una combinación de los datos primero, segundo y tercero.

40 De acuerdo con una realización, dichos terceros datos pueden basarse en la ubicación de un objeto de referencia fijado a la aeronave.

45 De acuerdo con una realización, el objeto de referencia puede ser un radiotransmisor.

50 De acuerdo con una realización, el robot de limpieza de aeronaves puede estar configurado para funcionar con base en un sensor cinemático en tiempo real, RTK, situado en el cabezal de limpieza del brazo robótico, y en un receptor/transmisor de la estación base acoplado a la aeronave.

55 Breve descripción de los dibujos

Lo anterior, así como los objetos, características y ventajas adicionales de la presente invención, se comprenderán mejor a través de la siguiente descripción detallada ilustrativa y no limitativa de las realizaciones preferidas de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos, en donde se utilizarán los mismos números de referencia para elementos similares, en donde:

- 5 La Figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de un robot de limpieza de aeronaves;
- La Figura 2 es una ilustración esquemática de un sistema de control de ejemplo del robot de limpieza de aeronaves de la Figura 1;
- La Figura 3 es una vista frontal esquemática del robot de limpieza de aeronaves de la Figura 1 con un cabezal de limpieza colocado en una posición de limpieza adyacente a una aeronave;
- 10 La Figura 4 es una vista lateral esquemática del robot de limpieza de aeronaves y la aeronave de la Figura 3, junto con una ilustración de una trayectoria de ejemplo del cabezal de limpieza;
- La Figura 5 es una vista lateral esquemática del robot de limpieza de aeronaves y la aeronave de la Figura 4, en donde se ilustra el robot de limpieza de aeronaves en tres posiciones consecutivas;
- 15 La Figura 6A es una vista lateral esquemática del robot de limpieza de aeronaves de la Figura 1, que ilustra una trayectoria de un brazo robótico del robot de limpieza de aeronaves entre una posición de transporte y una posición de inicio de la limpieza;
- La Figura 6B es una vista frontal esquemática del robot de limpieza de aeronaves, las posiciones, y la trayectoria de la Figura 6A;
- 20 La Figura 6C es una vista superior esquemática del robot de limpieza de aeronaves, las posiciones, y la trayectoria de la Figura 6A;
- La Figura 7 es una vista frontal esquemática del robot de limpieza de la Figura 1 con el brazo robótico que se ilustra en tres posiciones diferentes;
- La Figura 8A es una vista esquemática en sección de un cabezal de limpieza del robot de limpieza de aeronaves de la Figura 1;
- 25 La Figura 8B es una vista esquemática en otra sección del cabezal de limpieza de la Figura 8A;
- La Figura 9A es una vista superior esquemática del robot de limpieza de aeronaves de la Figura 1 a la vez que limpia una aeronave;
- La Figura 9B es una ilustración esquemática de la posición de una rueda del robot de limpieza de aeronaves en la situación que se ilustra en la Figura 9A;
- 30 La Figura 10A es una vista superior esquemática del robot de limpieza de aeronaves de la Figura 1 a la vez que se desplaza a una primera velocidad;
- La Figura 10B es una vista superior esquemática del robot de limpieza de aeronaves de la Figura 1 a la vez que se desplaza a una segunda velocidad;
- 35 La Figura 11 es un gráfico que ilustra una relación entre una señal de dirección, una velocidad, y los ángulos de dirección de las ruedas delanteras y posteriores del robot de limpieza de aeronaves de la Figura 1;
- La Figura 12 es una vista superior esquemática del robot de limpieza de aeronaves de la Figura 1;
- La Figura 13 es una ilustración esquemática de un desarrollo posterior del sistema de control que se ilustra en la Figura 2; y
- La Figura 14 es una vista esquemática en perspectiva de una aeronave estacionada sobre una placa base.
- 40 Descripción detallada de las realizaciones de ejemplo
- La Figura 1 ilustra un robot 10 autopropulsado de limpieza de aeronaves que comprende un portador 12 móvil, y un brazo 14 robótico. En su extremo 16 proximal, el brazo 14 robótico está fijado al portador 12 móvil a través de una articulación 18 giratoria de brazo, la cual está configurada para girar el brazo robótico alrededor de un eje S1 giratorio de brazo vertical. El brazo 14 robótico comprende un primer segmento 20 de brazo, el cual está conectado a la
- 45 articulación 18 giratoria de brazo a través de una primera articulación 22 pivotante, permitiendo que el primer segmento 20 de brazo pivote con respecto al portador 12 móvil alrededor de un primer eje P1 de pivote sustancialmente horizontal. Un primer cilindro 24 hidráulico está configurado para operar la primera articulación 22 pivotante. Un segundo segmento 26 de brazo está conectado al primer segmento 22 de brazo a través de una segunda articulación 28 de pivote, la cual permite pivotar el segundo segmento 26 de brazo con respecto al primer segmento 20 de brazo

alrededor de un segundo eje P2 de pivote sustancialmente horizontal. Un segundo cilindro 30 hidráulico está configurado para operar la segunda articulación 28 de pivote. En su extremo 31 distal, el brazo 14 robótico lleva un cabezal 32 de limpieza proporcionado con un cepillo 34 giratorio para cepillar la superficie de la aeronave que se va a limpiar. Un motor (no visible en la vista de la Figura 1) permite girar el cepillo 34 alrededor del eje R de rotación de cepillo, de tal manera que el movimiento del cepillo 34 define una cara 35 de cepillado cilíndrica sustancialmente circular para cepillar la aeronave que se va a limpiar. Una cara 37 de limpieza del cabezal 32 de limpieza está configurada para orientarse hacia la superficie que se va a limpiar durante el cepillado de la misma. Un segmento 36 de extremo del brazo 14 robótico está conectado al segundo segmento 26 de brazo a través de una tercera articulación 38 pivotante. La tercera articulación 38 pivotante permite pivotar el segmento 36 de extremo con respecto al segundo segmento 26 de brazo alrededor de un tercer eje P3 pivotante, el cual es sustancialmente perpendicular al segundo eje P2 pivotante. Una articulación 39 giratoria de cepillo conecta el cabezal 32 de limpieza al segmento 36 de extremo, y permite girar el cepillo 34 alrededor de un eje S2 giratorio de cepillo, el cual es sustancialmente perpendicular al eje R de rotación de cepillo, para controlar el ángulo de acoplamiento entre el eje R de rotación de cepillo y la superficie que se va a limpiar. El eje S2 giratorio de cepillo también es sustancialmente perpendicular al tercer eje P3 pivotante.

El cabezal 32 de limpieza comprende un yugo 40, el cual se extiende a horcajadas y sostiene los extremos axiales del cepillo 34. Tres sondas 42a, 42b, 42c curvadas de acoplamiento se extienden a partir del yugo 40 y están fijadas de manera pivotante a la misma para permitir el pivotamiento individualmente alrededor de un eje A de sonda sustancialmente paralelo al eje R de rotación de cepillo. Las sondas 42a-c están suspendidas elásticamente para girar alrededor del eje A de sonda dentro del cepillo 34, hacia el eje R de rotación de cepillo, y están sesgadas lejos del cepillo 34 hacia una posición de reposo insesgada, que se ilustra en la Figura 1, adyacente a la cara 35 de cepillado. La suspensión elástica permite que las sondas 42a-b sean presionadas dentro del cepillo 34 por la superficie de la aeronave limpiada por el cepillo 34. Cada sonda 42a-c está conectada de manera operable a un detector de ángulo de sonda respectivo (no se ilustra), el cual está configurado para generar una señal de ángulo que indica la profundidad a la que la sonda 34a-b respectiva ha sido empujada dentro del cepillo 34. Esto proporciona una indicación de la distancia radial entre la superficie de la aeronave y el eje R de rotación de cepillo en tres posiciones axialmente separadas.

El portador 12 móvil está proporcionado con cuatro ruedas 44, dos de las cuales son visibles en la vista en perspectiva de la Figura 1. Las ruedas 44 están dispuestas como un par de ruedas 44a delanteras y un par de ruedas 44b posteriores. Al menos un par de ruedas 44 son ruedas motrices, las cuales están configuradas para ser giradas por un motor de accionamiento (no visible). El portador 12 móvil también lleva componentes electrónicos e hidráulicos para el funcionamiento del robot 10 de limpieza de aeronaves con base en entradas recibidas de manera inalámbrica a partir de un panel 46 de control remoto separado del portador 12 móvil. Dos módulos 48 de batería están configurados para suministrar energía a los componentes electrónicos e hidráulicos, y están situados en los extremos respectivos del portador móvil con el fin de optimizar la distribución del peso y el equilibrio del portador 12 móvil. Alternativamente, uno de los módulos 48 de batería puede sustituirse por un compartimento que comprenda recipientes para el agua y los productos químicos de limpieza (no se ilustran), los cuales, por ejemplo, pueden transportarse y dispensarse a partir de las boquillas del cabezal 32 de limpieza de una manera que no se ilustra.

El primer segmento 20 de brazo comprende un primer subsegmento 20a; un segundo subsegmento 20b, el cual está conectado al primer subsegmento 20a a través de una primera articulación 50a telescópica; y un tercer subsegmento 20c, el cual está conectado al segundo subsegmento 20b a través de una segunda articulación 50b telescópica. Por lo tanto, el primer brazo 20 puede hacer telescopio en su dirección longitudinal hasta casi el triple de la longitud que se ilustra en la Figura 1. Cada articulación 50a, 50b telescópica se opera por medio de un cilindro 52a-b hidráulico respectivo.

La Figura 2 ilustra esquemáticamente un sistema 54 de control para controlar el robot 10 de limpieza. El sistema 54 de control comprende un controlador 56 configurado para, con base en instrucciones de ordenador almacenadas en una memoria 58, controlar los diversos actuadores del robot 10 de limpieza. La posición de cada una de las articulaciones 18, 22, 28, 38, 39, 50a, 50b es controlable operando el actuador respectivo, tal como los cilindros 24, 30, 52a, 52b hidráulicos (Figura 1), y cada articulación está proporcionada también con un sensor de posición (no se ilustra) configurado para generar una señal de posición al controlador 56, como se ilustra mediante las flechas dobles de la Figura 2. Para las articulaciones 22, 28, 38, 18, 39 giratorias y pivotantes revolutas, la señal de posición indica una posición angular de la articulación respectiva, a la vez que para las articulaciones 50a, 50b telescópicas, la señal de posición indica un grado de extensión longitudinal de la articulación 50a, 50b respectiva. El controlador 56 también controla el funcionamiento del motor 60 de rotación de cepillo; de un motor 62 de accionamiento para accionar al menos una rueda 44 de la plataforma móvil; y de al menos un motor 64a-b de dirección respectivo para cada par 44a-b de ruedas 44a, 44b de un modo que se describirá con mayor detalle más adelante. El controlador 56 también recibe señales que indican los ángulos de giro respectivos de las sondas 42a-c. Un módulo 66 de comunicaciones permite al controlador 56 recibir órdenes inalámbricas a partir del panel 46 de control remoto (Figura 1), y transmitir notificaciones al operario.

La Figura 3 ilustra el robot 10 de limpieza de aeronaves posicionado junto a una aeronave 68 con sus ruedas 44 paralelas a las ruedas 70 de la aeronave 68, de tal manera que el portador 12 móvil pueda conducir en una dirección sustancialmente paralela a la dirección longitudinal del cuerpo 72 de la aeronave 10 a la vez que limpia el cuerpo 72. En la vista de la Figura 3, el brazo 14 robótico se ilustra desplegado hasta una posición de limpieza, en la cual el

5 cabezal 32 de limpieza se posiciona adyacente a la superficie 73 que debe limpiarse. Al limpiar la aeronave 68, el portador 12 móvil conduce a lo largo de la aeronave 68 con el cabezal 32 de limpieza a una elevación E constante sobre el suelo 71 para limpiar la aeronave 68 en pasadas horizontales, y cambia la elevación E del cabezal 32 de limpieza entre pasadas consecutivas. El segmento 36 de extremo (Figura 1) está orientado con su eje longitudinal sustancialmente paralelo a la superficie 73 que se va a limpiar, y está controlado por el controlador 56 para girar alrededor del tercer eje P3 de pivote hacia la superficie 73 que se va a limpiar para aplicar una presión de acoplamiento de cepillo sustancialmente uniforme contra la superficie 73.

10 De nuevo con referencia a la Figura 1, la dirección longitudinal del cuerpo 72 de aeronave (Figura 3), es decir, la dirección de desplazamiento horizontal del portador 12 móvil, se indica mediante una flecha L. El cabezal 32 de limpieza puede moverse a lo largo de una línea recta en la dirección L longitudinal operando el brazo 14 robótico. Tal movimiento longitudinal puede ser accionado por un operario que mueve una palanca 74 de control del panel 46 de control remoto en una dirección predeterminada asociada con la dirección L longitudinal, y el panel 46, en respuesta, genera una entrada de control al controlador 56 (Figura 2) para mover el cabezal 32 de limpieza en la dirección L longitudinal. El movimiento a lo largo de la dirección L longitudinal puede, a modo de ejemplo, obtenerse operando simultáneamente cada una de la primera y segunda articulaciones 22, 28 pivotantes, y la articulación 18 giratoria de brazo. Alternativamente, también se pueden operar simultáneamente otros subconjuntos de articulaciones para obtener tal movimiento, pero en cualquier caso, el movimiento en la dirección L longitudinal por medio del brazo 14 robótico requiere operar diversas articulaciones. Además, para cada posición del brazo 14 robótico, un movimiento en la dirección L longitudinal requiere las diferentes magnitudes o amplitudes relativas de los movimientos en las articulaciones implicadas. A tal efecto, el controlador 56 está configurado para generar señales de control respectivas para cada una de las articulaciones 22, 28, S1 con base en una función de transferencia predeterminada la cual, para cada posición de las articulaciones de brazo robótico, asocia la entrada de control con un peso de señal de control de cada articulación respectiva.

25 Del mismo modo, una segunda dirección predeterminada de la palanca 74 de control, la cual puede ser perpendicular a dicha primera dirección predeterminada de la palanca 74 de control, puede asociarse con una dirección V vertical, permitiendo al operario generar una entrada de control para mover el cabezal 32 de limpieza en una línea recta vertical. El controlador 56 puede estar configurado para generar un movimiento en la dirección V vertical en respuesta a la recepción de tal entrada de control a partir del panel 46 de control remoto. Un par de botones 76a-b pueden asociarse con un movimiento del cabezal 32 de limpieza a lo largo de una dirección T horizontal perpendicular a la dirección L longitudinal, permitiendo al operario mover fácilmente el cabezal 32 de limpieza en línea recta, con base en una sola entrada, a lo largo de cualquier eje L, V, T de un sistema de coordenadas cartesianas. El controlador 56 utiliza la entrada recibida a partir de la palanca 74 de control y de los botones 76a-b para generar, con base en la función de transferencia, señales de control ponderadas para mover el cabezal de limpieza a lo largo de cualquiera de los ejes L, V, T, y cuando recibe simultáneamente múltiples señales de entrada de control a partir de los dos ejes de la palanca 30 74 de control así como de cualquiera de los botones 76a-b, el controlador 56 suma, para cada articulación, las señales de control ponderadas generadas con base en las señales de control para cada eje L, V, T.

40 Las múltiples articulaciones del brazo 14 robótico proporcionan por sí solas más grados de libertad de los necesarios para alcanzar cada punto del espacio alcanzable por el cabezal de limpieza 56. Por lo tanto, cada movimiento del brazo 14 robótico puede obtenerse operando simultáneamente un primer subconjunto de las articulaciones 18, 22, 28, 38, 39, 50a, 50b del brazo 14 robótico, o mediante un segundo subconjunto de las articulaciones del brazo 14 robótico, en donde el segundo subconjunto es al menos parcialmente diferente del primer subconjunto. Alternativamente, el primer y el segundo subconjuntos pueden ser operados simultáneamente para obtener un movimiento más rápido del brazo 14 robótico. Esto también significa que en un robot 10 de limpieza de aeronaves que tenga un número suficiente de articulaciones/grados de libertad para definir un sistema sobre determinado, el robot de limpieza de aeronaves 45 puede estar configurado para seleccionar automáticamente, para cada posición del cabezal 32 de limpieza, la combinación de posiciones de articulación que dé como resultado la mayor estabilidad del brazo robótico. Evidentemente, la movilidad del portador 12 móvil añade aún más grados de libertad.

50 La función de transferencia se basa en un modelo de la geometría del brazo robótico, incluidas todas las articulaciones y segmentos de brazo. Al generar una trayectoria, el controlador determina primero, utilizando la función de transferencia, la posición actual del cabezal 32 de limpieza en el sistema de coordenadas L, V, T. Con base en la entrada de control, el controlador 56 determina una posición objetivo del cabezal 32 de limpieza que debe alcanzarse en el sistema de coordenadas L, V, T. A continuación, el controlador determina, con base en la cinemática inversa utilizando la función de transferencia, un conjunto de posibles posiciones de brazo robótico para la posición objetivo del cabezal de limpieza, y selecciona una posición objetivo de brazo robótico del conjunto de posibles posiciones de 55 brazo robótico. Para cada posición del conjunto de posibles posiciones de brazo robótico, el controlador 56 determina el tiempo mínimo de desplazamiento de cada articulación para alcanzar su posición correspondiente a la respectiva posición de brazo robótico, y selecciona la posible posición de brazo robótico que implique el menor de los mayores tiempos mínimos de desplazamiento dentro del conjunto de articulaciones que se van a operar, es decir, la posible posición de brazo robótico que pueda alcanzarse en el menor tiempo si se permite operar simultáneamente cualquier combinación de articulaciones, para que sea la posición objetivo de brazo robótico. La selección se realiza teniendo 60 en cuenta la restricción adicional de que no se puedan alcanzar posiciones no permitidas de brazo robótico a lo largo del recorrido. Después de haber sido determinada la posición objetivo de brazo robótico, cada articulación que se va a operar es operada a una velocidad la cual llevará a la articulación a la posición de articulación respectiva que se va

a alcanzar en un tiempo de desplazamiento mínimo sustancialmente mayor del conjunto de articulaciones que se va a operar. Por lo tanto, todas las articulaciones se operan lo más lentamente posible sin aumentar el tiempo necesario para alcanzar la posición objetivo de brazo robótico. Una tal forma de controlar el brazo 14 robótico minimiza el balanceo.

5 Cuando el controlador 56 recibe instrucciones a partir del panel 46 de control remoto para cambiar la dirección de movimiento del cabezal 32 de limpieza, cambiará de operar un primer subconjunto de articulaciones a operar un segundo subconjunto de articulaciones en donde los dos subconjuntos pueden solaparse parcialmente. Para aquellas articulaciones las cuales no formen parte de ambos subconjuntos, el controlador 56 podrá disminuir gradualmente los valores de control de las articulaciones que deban detenerse, a la vez que aumenta gradualmente los valores de control de aquellas articulaciones que deban ponerse en movimiento, aun manteniendo el movimiento de las articulaciones las cuales formen parte de ambos subconjuntos. Por lo tanto, el movimiento global del brazo 14 robótico no se detiene, lo cual reduce aún más el balanceo.

15 La Figura 4 ilustra el funcionamiento del robot 10 de limpieza de aeronaves durante la limpieza de una aeronave 68. El cuerpo 72 de la aeronave 68 está dividido en una pluralidad de segmentos LF, LR de aeronave, dos de los cuales se ilustran en la Figura 4, y cada uno de los cuales se limpia en una única operación de limpieza continua respectiva. Cada segmento LF, LR de aeronave respectivo se limpia de acuerdo con un patrón de movimiento predefinido compuesto por carreras horizontales, las cuales están interconectadas por carreras verticales para definir un patrón rectangularmente serpenteante sobre la superficie cilíndrica del cuerpo 72 de la aeronave. Los patrones de carrera de ejemplo para los segmentos LF, LR de aeronave se ilustran mediante las respectivas flechas PLF, PLR discontinuas.

20 El operario puede, a través de una interfaz gráfica de usuario (no se ilustra) en el panel 46 de control remoto (Figura 1), seleccionar un tipo de aeronave, tal como "Airbus 320", a partir de una pluralidad de tipos de aeronave disponibles, y un segmento de aeronave, tal como el segmento LF de aeronave delantero izquierdo o el segmento LR de aeronave posterior izquierdo. Con base en la selección, el controlador 56 recupera a partir de la memoria 58 un programa asociado con el tipo de aeronave y al segmento de aeronave. El programa comprende instrucciones para operar el brazo 14 robótico (Figura 1), así como el portador 12 móvil (Figura 1). Como se ilustra en la Figura 4, cada segmento LF, LR de aeronave puede comprender, por ejemplo, porciones del cuerpo 72 de aeronave situadas por encima de las alas 80.

30 La Figura 5 ilustra el funcionamiento del robot 10 de limpieza de aeronaves durante una carrera horizontal única de ejemplo. Partiendo de la posición más a la izquierda que se ilustra, y con base en las instrucciones almacenadas, el controlador 56 mueve el cabezal 32 de limpieza a lo largo de la dirección L longitudinal operando el motor 62 de accionamiento (Figura 2) para conducir el portador 12 móvil en la dirección L longitudinal siempre que la trayectoria del robot 10 de limpieza no esté bloqueada por obstáculos. Una vez que el portador 12 móvil alcanza la posición 12' adyacente al ala 80, automáticamente, con base en las instrucciones asociadas con el segmento LF de aeronave, detiene el portador 12 móvil, y pone en movimiento el brazo 14 robótico para continuar la trayectoria recta del cabezal 32 de limpieza en la dirección L longitudinal. Con el fin de minimizar el balanceo del brazo 14 robótico, a medida que el robot 10 de limpieza de aeronaves se aproxima al ala 80, el controlador 56 opera el brazo 14 robótico para aumentar gradualmente la velocidad del cabezal 32 de limpieza con respecto al portador 12 móvil a lo largo de la dirección L longitudinal, a la vez que disminuye gradualmente la velocidad del portador 12 móvil. Por lo tanto, el movimiento del cabezal 32 de limpieza no se detiene. Por razones de seguridad, el funcionamiento del motor 62 de accionamiento y de las articulaciones del brazo 14 robótico se mantiene únicamente con la condición de que el operario mantenga en acoplamiento un interruptor 78 de hombre muerto (Figura 1). Aparte de eso, el robot 10 de limpieza sigue la trayectoria PLF, PLR predeterminada (Figura 4) sin requerir ninguna entrada adicional del operario.

45 Las Figuras 6A-C ilustran, en tres proyecciones ortogonales, el robot 10 de limpieza a medida que despliega el brazo 14 robótico a partir de una posición de transporte colapsada (líneas continuas) hasta una posición de inicio de limpieza (líneas discontinuas) adyacente a la superficie que se va a limpiar 73 (Figura 3). Como tal el despliegue puede repetirse múltiples veces a la vez que se limpia una aeronave 68, ya que el robot 10 de limpieza de aeronaves puede moverse entre diferentes secciones de la aeronave 68 que se va a limpiar, el despliegue y el colapso del robot 10 de limpieza de aeronaves pueden representar una porción sustancial del tiempo total de limpieza. Por lo tanto, el robot 10 de limpieza de aeronaves proporciona un programa de despliegue automatizado, de acuerdo con el cual el robot 10 de limpieza de aeronaves opera simultáneamente la articulación 18 giratoria de brazo y las articulaciones 22, 28 pivotantes primera y segunda. A la vez que opera las articulaciones 18, 22, 28, el controlador 56 (Figura 2) mueve el cabezal 32 de limpieza, con base en instrucciones predeterminadas almacenadas en la memoria 58, a lo largo de la trayectoria más corta, que se ilustra en cada proyección mediante flechas U sólidas, a partir de su posición cuando el brazo 14 robótico está colapsado, hasta la posición de inicio de limpieza que se ilustra en líneas discontinuas. Como se ilustra en las Figuras 6A-C, también las terceras articulaciones 38 pivotantes y la articulación 39 giratoria de cepillo (Figura 1) pueden ser operadas de acuerdo con el programa de despliegue para obtener una posición de inicio de limpieza que tenga un ángulo de cepillado deseado. El programa de despliegue se inicia con base en la entrada del operario a partir del panel de control remoto (Figura 1), y requiere que el interruptor 78 de hombre muerto (Figura 1) esté acoplado a la vez que se mueve el brazo 14 robótico.

60 La memoria 58 (Figura 2) almacena una pluralidad de conjuntos de instrucciones predeterminadas, para generar una pluralidad de trayectorias de despliegue diferentes, dependiendo de la selección por parte del operario del tipo de aeronave y del segmento de la aeronave que se va a limpiar. Para algunos segmentos de aeronave, la trayectoria

predeterminada también puede comprender el movimiento del cabezal 32 de limpieza a lo largo de una trayectoria la cual no sea la más corta, para impedir, por ejemplo, las alas de la aeronave y otras estructuras las cuales puedan encontrarse entre la posición de transporte del cabezal 32 de limpieza y la posición de inicio de limpieza deseada. El programa también puede comprender instrucciones para mover cada articulación pivotante a lo largo de una trayectoria respectiva predeterminada para impedir que el brazo 14 robótico golpee cualquier porción de la aeronave 68 (Figura 4). El programa de despliegue puede ejecutarse con base en el supuesto de que el portador 12 móvil se ha posicionado en una posición de inicio de limpieza predeterminada en relación con el segmento (LF, LR) de aeronave (Figura 4) que se va a limpiar.

La Figura 7 ilustra el robot 10 de limpieza de aeronaves visto de frente, a la vez que limpia la aeronave 68. Como ya se ha sugerido anteriormente, las señales de las sondas 42a-42c (Figura 1), y en particular, la señal de la sonda 42b central, indican al controlador 56 (Figura 2) la distancia d radial entre la superficie 73 de aeronave y el eje R de rotación de cepillo (Figura 1), lo cual también proporciona una indicación de la presión de acoplamiento de cepillo sobre la superficie 73. Si la distancia d debe cambiar, el controlador 56 está configurado para controlar automáticamente el brazo 14 robótico para compensar el cambio. Tales cambios pueden deberse, por ejemplo, a una desalineación entre la dirección de desplazamiento del portador 12 móvil y la dirección L longitudinal (Figura 5) de la aeronave 68, o a variaciones longitudinales en la forma de la superficie 73 que se está limpiando. Para cambios menores, la tercera articulación 38 pivotante (Figura 1) puede controlarse para regresar la distancia d a una distancia de limpieza predeterminada. Sin embargo, para cambios mayores en la distancia d los cuales muevan el ángulo de pivote de la tercera articulación 38 de pivote fuera de un rango de ángulo predeterminado, la primera articulación 22 de pivote se opera para mantener la distancia d en la distancia de limpieza predeterminada. La Figura 7 ilustra el brazo 14 robótico en líneas continuas antes de una tal operación. Sin embargo, al pivotar la primera articulación 22 de pivote se cambia también la elevación E del cabezal 32 de limpieza. Con el fin de mantener el cabezal 32 de limpieza a una elevación E constante, a la vez que se sigue acoplando con la superficie que se va a limpiar ahora posicionada en la posición 73', la segunda articulación 28 de pivote es operada junto con la primera articulación 22 de pivote, llevando el brazo robótico a la posición 14' que se ilustra en líneas discontinuas.

Como el sistema está sobre determinado, el brazo 14 robótico es capaz de mantener la distancia d y la elevación E de diversas maneras diferentes. Como alternativa al funcionamiento de las articulaciones 22, 28 de pivote primera y segunda, el controlador 56 puede operar en su lugar la primera articulación 50a telescópica junto con la segunda articulación 28 de pivote, llevando el brazo robótico a la posición 14". Aunque no se ilustra, la posición 32' del cabezal de limpieza también puede alcanzarse operando, por ejemplo, la articulación 18 giratoria de brazo. El controlador 56 está configurado para seleccionar una combinación de articulaciones que se van a operar con base en un conjunto de posiciones predeterminadas no permitidas del brazo robótico, el cual a su vez está determinado por la posición del portador 12 móvil con respecto a la aeronave 68.

La Figura 8A es una sección del cabezal 32 de limpieza perpendicular al eje R de rotación de cepillo, e ilustra el cabezal 32 de limpieza con la segunda sonda 42b central en dos posiciones diferentes. Las líneas discontinuas ilustran la sonda 42b en una posición de reposo, a cuya posición está sesgada cuando no se acopla con una superficie 73 que se va a limpiar. La sonda 42b también se ilustra en líneas continuas, en una posición en donde ha sido presionada dentro del cepillo 34 por la superficie 73 que se va a limpiar. A medida que el cepillo 34 se acopla gradualmente con la superficie 73 que se va a limpiar, y por lo tanto, la sonda 42b es presionada gradualmente dentro del cepillo 34, la sonda 42b pivota un ángulo α alrededor del eje A de pivote de sonda (Figura 1). El ángulo α de pivote es detectado por un sensor de ángulo (no se ilustra) en la articulación 43 de pivote, y se proporciona al controlador 56 un valor representativo del ángulo α de pivote (Figura 2). Se apreciará que las sondas 42a, 42c primera y tercera (Figura 1) operan de la misma manera. El valor proporcionado al controlador 56 también es representativo de la distancia d_1 radial más corta entre el eje R de rotación de cepillo y la superficie 73 que se va a limpiar. Por lo tanto, Cuando se gira el cepillo 34 alrededor de su eje R, el valor es también representativo de la presión de acoplamiento de la cara 35 de cepillado contra la superficie 73 que se va a limpiar.

La Figura 8B ilustra las dos posiciones del cabezal de limpieza de la Figura 8A en una sección a lo largo del eje R de rotación de cepillo, y perpendicular a la dirección L longitudinal (Figura 8A). En la vista de la Figura 8B, el eje R de rotación de cepillo está inclinado con respecto a la superficie 73 que se va a limpiar, de tal manera que la primera y la tercera sondas 42a, 42c, axialmente más externas, no se presionan a la misma distancia en el cepillo 34. Cuando se acopla con la superficie 73 que se va a limpiar, la distancia d_2 radial más corta entre la primera sonda 42a y la superficie 73 que se va a limpiar es mayor que la distancia d_3 radial más corta entre la tercera sonda 42c y la superficie 73 que se va a limpiar. La diferencia de radios d_2-d_3 es representativa de una aproximación del ángulo β de acoplamiento entre la cara 35 de cepillado, definida como el contorno exterior barrido por los extremos de cerda del cepillo 34 cuando gira libremente sin acoplarse con la superficie 73 que se va a limpiar, y la superficie 73 que se va a limpiar. En la realización que se ilustra en las figuras adjuntas, la cara 35 de cepillado es paralela al eje R de rotación de cepillo, de tal manera que el ángulo β de acoplamiento de cepillo corresponde al ángulo entre el eje R de rotación de cepillo y la superficie 73 que se va a limpiar; esto puede ser diferente para, por ejemplo, un cepillo no cilíndrico.

Con base en el ángulo β de acoplamiento de cepillo detectado, aproximado por la diferencia d_2-d_3 , el controlador opera la articulación 39 giratoria de cepillo para minimizar el ángulo β de acoplamiento de cepillo, es decir, para alinear el cepillo 34 con la superficie 73 que se va a limpiar.

El controlador 56 también utiliza la señal de las sondas 42a-c para controlar la presión de acoplamiento de cepillo aplicada por el cepillo 34 sobre la superficie que se va a limpiar 73. A la vez que la diferencia de radios d2-d3 puede servir como entrada en un bucle de control para controlar el ángulo β de acoplamiento de cepillo como se ha descrito anteriormente, la suma de radios d1 + d2 + d3 es representativa de la fuerza con la que se presiona la cara 35 de cepillado contra la superficie que se va a limpiar 73, y puede servir como entrada en un bucle de control para controlar la presión de acoplamiento de cepillo. En la situación que se ilustra, el controlador 56 determina, con base en las entradas de las sondas 42a-c, que la cara 37 de limpieza del cabezal 32 de limpieza se enfrenta y hace tope con la superficie que se va a limpiar 73. En respuesta, el controlador 56 puede ajustar la presión de acoplamiento de cepillo operando el brazo 14 robótico; a modo de ejemplo, con referencia de nuevo a la Figura 1, el controlador puede operar la tercera articulación 38 de pivote para mantener la suma d1 + d2 + d3 dentro de un intervalo preestablecido. Alternativamente, el controlador 56 puede determinar en qué dirección aplicar la presión sin la entrada de las sondas 42a-b, ya que la dirección de limpieza en la cual aplica la presión está implícitamente determinada por la dirección en la cual se orienta la cara 37 de limpieza del cabezal 32 de limpieza, y esta dirección puede determinarse con base en la información de posición de cada una de las articulaciones 18, 22, 28, 38, 39, 50a, 50b del brazo 14 robótico. En lugar de utilizar las sondas 42a-c para determinar la presión de acoplamiento de cepillo, la presión de acoplamiento de cepillo puede detectarse, a modo de ejemplo, detectando un par de torsión en la tercera articulación 38 pivotante. Por lo tanto, las sondas 42a-c no son necesarias para controlar la presión de acoplamiento de cepillo.

Regresando de nuevo a la Figura 4, el cabezal 32 de limpieza está configurado para seguir una ruta predeterminada, tal como la trayectoria PLF delantera izquierda, a lo largo de la superficie de la aeronave 68. En cada uno de una pluralidad de puntos de muestreo a lo largo de la ruta, el controlador 56 registra un registro de datos de limpieza que comprende la presión de acoplamiento de cepillo detectada, junto con el tiempo de duración del acoplamiento de cepillo para cada punto respectivo. El controlador 56 almacena los registros de datos de limpieza en una memoria informática no volátil, permitiendo así verificar, una vez finalizado el programa de limpieza, que todas las partes de la aeronave 68 se han limpiado suficientemente.

La Figura 9A ilustra el robot 10 de limpieza de aeronaves en una posición sustancialmente idéntica a la que se ilustra en la Figura 3, pero visto desde arriba. Sin embargo, la situación de la Figura 9A difiere de la que se ilustra en la Figura 3 en que el portador 12 móvil no está alineado con el eje L longitudinal de la aeronave 68 que se va a limpiar. Esto puede ocurrir, por ejemplo, si el robot 10 de limpieza de aeronaves no se posiciona con precisión junto a la aeronave 68 antes de iniciar la limpieza. Con el fin de remediar el problema, ambos pares de ruedas, es decir, tanto el par de ruedas 44a delanteras (Figura 1) como el par de ruedas 44b posteriores, son dirigibles. A medida que el portador 12 móvil conduce a lo largo de la aeronave 68, el controlador 56 recibe entradas de control del brazo 14 robótico y/o del cabezal 32 de limpieza, indicando al controlador 56 si el portador 12 móvil se acerca o se aleja de la superficie 73 que se va a limpiar. Con base en la entrada de control, el controlador 56 controla el ángulo de dirección de los conjuntos 44a, 44b de ruedas delanteras y posteriores para seguir un curso C paralelo al eje L longitudinal, o al menos paralelo a la superficie que se va a limpiar 73, manteniendo así una distancia constante entre el portador 12 móvil y la aeronave 68.

La Figura 9B ilustra esquemáticamente el control de los pares 44a, 44b de ruedas delanteras y posteriores con todos los demás componentes del robot 10 de limpieza de aeronaves retirados para mayor claridad. Cada par 44a, 44b de ruedas define un eje de rueda respectivo, de tal manera que las ruedas 44a delanteras definen conjuntamente un eje AF de rueda delantero, y las ruedas 44b posteriores definen conjuntamente un eje AR de rueda posterior. Los ejes AF, AR de rueda no tienen por qué ser físicos, es decir, definidos por árboles respectivos; el término eje debe considerarse más bien en un sentido funcional. Cada rueda 44a delantera es giratoria alrededor de un respectivo eje WF de rotación de rueda delantera, y cada rueda 44b posterior es giratoria alrededor de un respectivo eje WR de rotación de rueda posterior. El ángulo de dirección de cada rueda 44a, 44b se define como el ángulo SF, SR entre el eje WF, WR de rotación de la rueda 44a, 44b respectiva, y el eje AF, AR de rueda respectivo. El rumbo H del portador 12 móvil se define como la dirección en donde se orienta la parte 13 delantera del portador 12 móvil, a lo largo de una dirección horizontal perpendicular al eje AF de rueda delantero. El controlador 56 está configurado para, con base en la entrada de control, dirigir cada uno de los pares 44a, 44b de ruedas delanteras y posteriores en la misma dirección, y a sustancialmente el mismo ángulo SF, SR de dirección respectivo, permitiendo así que el portador móvil siga un curso C recto el cual es diferente del rumbo H. Esta manera de dirigir se denomina típicamente dirección de cangrejo.

En otras situaciones, tales como cuando se conduce el portador móvil entre diferentes segmentos LF, LR de aeronave (Figura 4) para ser limpiados, el controlador puede estar configurado para dirigir las ruedas 44a delanteras y las ruedas 44b posteriores a diferentes ángulos SF, SR de dirección, los cuales pueden estar en direcciones opuestas, es decir, de signos opuestos. Esto puede aumentar la maniobrabilidad del portador 12 móvil. La Figura 10A ilustra la conducción del portador 12 móvil a una primera velocidad v1 relativamente baja, en una situación en donde un operario genera una determinada señal de entrada de dirección a través de la palanca 74 de control del panel 46 de control remoto (Figura 1). Con base en la señal de entrada de dirección, el controlador 56 genera señales de control de dirección de ruedas para ajustar los respectivos ángulos SF1, SR1 de dirección de los pares 44a, 44b de ruedas delantera y posterior. La Figura 10B ilustra el portador 12 móvil en la misma situación, recibiendo la misma señal de entrada de dirección de la palanca 74 de control, pero cuando se conduce a una velocidad v2 relativamente más alta. A la mayor velocidad de la Figura 10B, el ángulo SF2 de dirección de la rueda delantera es menor que el ángulo SF1 de dirección de la rueda delantera de la Figura 10A, para la misma señal de entrada de dirección. Del mismo modo, a la velocidad más alta de la Figura 10B, el ángulo SR2 de dirección de la rueda posterior es menor que el ángulo SR1 de dirección

de la rueda posterior de la Figura 10A, para la misma señal de entrada de dirección. Además, al aumentar la velocidad, el factor de proporcionalidad entre la señal de entrada de dirección y el ángulo SF, SR de dirección se reduce más para las ruedas 44b posteriores que para las ruedas 44a delanteras. Expresado de otro modo, para $v_2 > v_1$, se cumplen las siguientes condiciones para una señal de entrada de dirección dada:

- 5 SF1 > SF2;
SR1 > SR2; y

SF2/SF1 > SR2/SR1, donde SF1 y SR1 son los ángulos de dirección de ruedas delantera y posterior a la velocidad v_1 , y SF2 y SR2 son los ángulos de dirección de ruedas delantera y posterior a la velocidad v_2 .

- 10 La Figura 11 ilustra esquemáticamente la relación general entre la magnitud IS de señal de entrada de dirección procedente de la palanca 74 de control (Figura 1) y los conjuntos respectivos de ángulos SF1, SR1 y SF2, SR2 de dirección para las dos velocidades v_1, v_2 diferentes.

- 15 Los pares 44a, 44b de ruedas delanteras y posteriores son direccionables en una medida similar, y la geometría general del portador 12 móvil es sustancialmente simétrica. Ahora con referencia a la Figura 12: Con el fin de obtener unas características de dirección similares independientemente de si el portador 12 móvil se conduce en una dirección hacia adelante, que se ilustra por el curso C, o en dirección hacia atrás, que se ilustra por el curso C', el controlador 56 está configurado para determinar una dirección de conducción actual y, con base en la dirección de conducción, determinar cuál de los pares 44a, 44b de ruedas actúa actualmente como ruedas delanteras, y cuál de los pares 44a, 44b de ruedas actúa actualmente como ruedas posteriores, respectivamente. El controlador 56 está configurado para generar una señal de dirección de rueda delantera para el par de ruedas 44a (en el caso del curso C), 44a' (en el caso del curso C') que actúan actualmente como ruedas delanteras, y una señal de dirección de rueda posterior para el par 44b, 44b' de ruedas que actúan actualmente como ruedas posteriores, en donde la generación de la señal de dirección de rueda delantera es con base en una función de conversión de rueda delantera procedente de la señal IS de entrada de dirección al ángulo SF de dirección de rueda delantera, y la generación de la señal de dirección de rueda posterior es con base en una función de conversión de rueda posterior procedente de la señal IS de entrada de dirección al ángulo SR de dirección de rueda posterior. La función de conversión de rueda delantera y la función de conversión de rueda posterior pueden ser diferentes, y pueden ser como se ilustra en la Figura 11.

- 25 Con referencia de nuevo a las Figuras 6A-6C, el brazo 14 robótico es móvil entre una posición de transporte colapsada (que se ilustra en líneas continuas) y una posición de trabajo extendida (líneas discontinuas). Los sensores de posición monitorizan las posiciones de cada una de las articulaciones 18, 22, 28, 38, 39, 50a, 50b del brazo 14 robótico, y el controlador 56 está configurado para determinar, con base en las posiciones de las articulaciones, si el brazo 14 robótico está en la posición de transporte. Cuando está en la posición de trabajo, el controlador 56 establece una primera velocidad límite, relativamente inferior, para la conducción del portador 12 móvil, reduciendo así el riesgo de que una conducción descuidada pueda provocar el vuelco del robot 10 de limpieza de aeronaves. Cuando está en la posición de transporte, el controlador establece una segunda velocidad límite, relativamente más alta, de tal manera que el robot 10 de limpieza de aeronaves pueda moverse rápidamente entre los segmentos de aeronave que se van a limpiar. Las velocidades límite respectivas definen las velocidades máximas a las cuales un usuario puede conducir el portador 12 móvil con el brazo 14 robótico en las posiciones respectivas.

- 30 Del mismo modo, el controlador 56 está configurado para ajustar también el comportamiento de dirección con base en si el brazo 14 robótico está en la posición de trabajo o en la posición de transporte. Cuando está en la posición de trabajo, el controlador 56 establece un primer límite de ángulo de dirección, relativamente inferior, para cada uno de los pares 44a, 44b de ruedas delanteras y posteriores, es decir, el controlador 56 establece un primer valor máximo, relativamente inferior, para los ángulos SF, SR de dirección (Figura 9B). Cuando está en la posición de transporte, el controlador establece un segundo límite de ángulo de dirección, relativamente mayor, para cada uno de los pares 44a, 44b de ruedas delanteras y posteriores, maximizando así la agilidad del robot de limpieza de aeronaves durante el transporte y el posicionamiento previo a la limpieza.

- 35 La Figura 13 ilustra esquemáticamente una configuración del sistema de control aún más desarrollada que puede proporcionar una fiabilidad de funcionamiento mejorada y que, en general, puede aplicarse al sistema de control de la Figura 2.

- 40 Este sistema de control implica un enfoque de dos capas en donde un primer controlador 56 en una capa básica adquiere los datos a partir de los sensores 101 y proporciona señales de control a diferentes actuadores y motores 103 como se ha descrito anteriormente. Por lo tanto, el primer controlador 56 controla la posición del cabezal 32 de limpieza con respecto al portador 12 móvil, entre otras cosas, operando el brazo 14 robótico, véase la Figura 1. El primer controlador 56 conduce además el portador 12 móvil a diversas posiciones a lo largo de la aeronave a la vez que la limpia. Por lo tanto, el primer controlador 56 lleva a cabo todas las funciones necesarias para realizar la limpieza. Por lo tanto, el primer controlador 56 opera con base en los datos procedentes de un primer conjunto de sensores 101 y, opcionalmente, utilizando una memoria.

En una capa superior, se emplea un segundo controlador 56'. Este controlador monitorea las acciones llevadas a cabo por el primer controlador 56 y sirve para identificar las próximas situaciones posiblemente peligrosas, y para influir en

el primer controlador 56 para impedir tales situaciones. Por lo tanto, el segundo controlador 56' monitorea el brazo 14 robótico y el cabezal 32 de limpieza con base en los datos procedentes de un conjunto de sensores 105 el cual puede ser total o parcialmente diferente del conjunto de sensores 101 utilizado por el primer controlador 56. El segundo controlador 56' utiliza una combinación medida de datos de sensor, y determina si la combinación medida corresponde a una combinación de datos que implique un riesgo. Si este es el caso, el segundo controlador 56' puede desactivar o invertir las acciones de control del primer controlador 56.

No hace falta decir que, los controladores 56, 56' primero y segundo pueden crearse como bloques de software diferentes que se ejecutan en un único dispositivo de procesamiento. En general, el primer controlador 56 puede llevar a cabo el control con alta precisión con base en sensores muy precisos en el primer conjunto de sensores 101. Con el fin de mantener unos costes razonables para tales sensores, el segundo controlador 56' emplea adicionalmente sensores 105 con un alto grado de fiabilidad, por ejemplo de tipo militar, que no tienen por qué ser capaces de controlar realmente el robot, sólo de asegurarse de que el robot no cruce un límite hacia un estado inseguro. El segundo controlador 56' también puede utilizar parcialmente los datos procedentes del primer conjunto de sensores 101.

La detección de estados inseguros puede ser llevada a cabo por el segundo controlador 56' con base en la alimentación de conjuntos de datos de sensor a una tabla 107 de búsqueda que simplemente emite seguro/inseguro como respuesta. No hace falta decir que, los estados inseguros también pueden detectarse con base en datos de un solo sensor, por ejemplo si se detecta que el robot empieza a volcarse o si el par de torsión de una articulación excede un valor umbral. A modo de ejemplo, el segundo controlador 56' puede estar configurado para identificar un estado inseguro con base en la entrada de un sensor de par de torsión situado en la primera articulación 18 de pivote de brazo robótico (Figura 1), que mide el par de torsión alrededor del primer eje P1 de pivote. Un tal sensor de par de torsión puede estar configurado, por ejemplo, como un manómetro que mide la presión hidráulica en el primer cilindro 24 hidráulico.

Si el segundo controlador 56' detecta un estado inseguro, el primer controlador 56' puede desactivarse para impedir moverse más lejos del límite seguro/inseguro. El primer controlador 56 también puede recibir instrucciones del segundo controlador 56' para invertir las últimas etapas que condujeron al estado inseguro. Posteriormente, el primer controlador 56 puede determinar una forma alternativa de llevar a cabo la función deseada que había conducido al estado inseguro, por ejemplo, moviendo el robot 10 más lejos o más cerca de la aeronave 68 y compensando este movimiento con el brazo 14 robótico.

Además, se puede informar de un estado inseguro al usuario que supervisa el robot proporcionando una indicación 109, por ejemplo, a través del panel 46 de control remoto (Figura 1), ya que un estado inseguro temporal puede indicar, por ejemplo, un mal funcionamiento de un sensor del primer controlador 56.

El segundo controlador 56' puede interferir con el primer controlador 56 sólo en caso de combinación insegura, siendo de otro modo pasivo. Sin embargo, es posible proporcionar una indicación 109 en forma de un informe que ilustre lo cerca de los límites seguros/inseguros que opera el robot, incluso si el segundo controlador 56' no interfiere con el primer controlador 56.

Otra solución está relacionada con la forma en que el robot 10 determina cómo encontrar la aeronave 68, determina en qué parte de la aeronave se debe llevar a cabo la limpieza, y cómo verificar que se ha llevado a cabo un programa de limpieza deseado. Aunque sería posible crear el robot 10 con cámaras y algoritmos de análisis de imágenes que permitan que el robot encuentre simplemente una aeronave genérica, identificar el fuselaje y las alas, etc., y llevar a cabo una secuencia de limpieza, las cámaras son, en general, sensibles a las condiciones de humedad y suciedad de una situación de limpieza. Por consiguiente, pueda preferirse un enfoque más estructurado, y será descrito con referencia a la Figura 14.

En primer lugar, la placa 111 base sobre la cual opera el robot puede definir un primer sistema 113 de coordenadas. Lo más probable es que la placa base sea plana y, por tanto, cualquier ubicación en la placa base puede definirse utilizando dos parámetros, aunque es muy concebible que la placa base también pueda definirse en tres dimensiones, por ejemplo, para permitir una pendiente hacia un drenaje, etc. En cualquier caso, el controlador 56 puede recibir un primer conjunto de datos correspondientes a un sistema 113 de coordenadas de la placa 11 base. A continuación, el robot puede determinar su posición y orientación en este sistema de coordenadas utilizando un dispositivo de posicionamiento como es bien conocido per se, por ejemplo utilizando un sistema RTK-, cinemática en tiempo real. Esto puede hacerse para el robot 10 en su conjunto, y de manera particular para el cabezal 32 de limpieza del mismo.

Las aeronaves 68, en particular las aeronaves de pasajeros están altamente estandarizadas y reguladas, y el robot puede recibir o leer un segundo conjunto de datos relativos a una geometría precisa del tipo de aeronave que se va a limpiar, típicamente correspondiente a un sistema 115 de coordenadas que describe la superficie envolvente de la misma, incluidas las áreas que se van a limpiar y las áreas en donde no se va a llevar a cabo ninguna limpieza, por ejemplo.

El controlador puede recibir además un tercer conjunto de datos 117 correspondientes a la relación entre el sistema 113 de coordenadas de la placa 111 base y el sistema 115 de coordenadas de la aeronave 68. Típicamente, estos

datos 117 describen la ubicación de la aeronave 68 en el sistema 113 de coordenadas de la placa 11 base y su orientación en el mismo.

5 Con base en estos conjuntos de datos primero, segundo y tercero, el controlador 56 de robot mueve el portador 12 móvil y el brazo 14 robótico, véase la Figura 3, para hacer que el cabezal 32 de limpieza lleve a cabo una secuencia de limpieza de manera eficiente. Durante esta secuencia, es posible registrar el tiempo de acoplamiento y la fuerza de acoplamiento del cabezal 32 de limpieza para cada porción limpiada de la superficie de envoltura de aeronave, lo cual puede proporcionarse como un informe, por ejemplo para programar secuencias de limpieza adicionales. Además, es posible proporcionar el cabezal de limpieza con una cámara (no se muestra) y llevar a cabo una inspección de seguridad de la superficie de envoltura de la aeronave durante la limpieza o, lo cual puede ser preferible teniendo en cuenta las condiciones de suciedad durante la limpieza, antes o después de la limpieza.

10 El tercer dato antes mencionado relacionado con la relación entre la geometría de la aeronave y la geometría de la placa base puede proporcionarse por medio de la ubicación de un objeto 119 de referencia fijado a la aeronave. Un tal objeto de referencia puede ser un radiotransmisor, aunque son concebibles otros objetos de referencia, tales como marcadores ópticos y similares.

15 Una opción que hace posible tanto la determinación del tercer dato como la posterior navegación del robot y la dirección del cabezal 32 de limpieza es emplear sensores cinemáticos en tiempo real, RTK, y estaciones base. Uno de tales sensores puede situarse luego en el cabezal 32 de limpieza, y los receptores/transmisores de la estación base pueden fijarse a la aeronave 68 y a una ubicación de referencia de la placa 111 base.

20 Otra opción que permite determinar el tercer dato es conducir el portador 12 móvil a lo largo de la aeronave, a la vez que limpia la aeronave utilizando el cepillo 34, en donde el controlador está configurado para seguir la superficie de aeronave con el cepillo 34, por ejemplo, como se describe en detalle más arriba; y con base en la forma detectada de la aeronave 68, determinar la posición exacta de la aeronave 68 con respecto al robot 10 de limpieza.

25 Los conceptos inventivos expuestos en la presente memoria se han descrito más arriba principalmente con referencia a unas pocas realizaciones. Sin embargo, como puede apreciar fácilmente un experto en la técnica, otras realizaciones distintas de las divulgadas más arriba son igualmente posibles dentro del ámbito de la invención, tal como se define en las reivindicaciones de patente adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un robot de limpieza de aeronaves que comprende
- 5 un brazo (14) robótico que tiene un extremo (16) proximal fijado a un portador (12) móvil, y un extremo (31) distal proporcionado con un cabezal (32) de limpieza que comprende un cepillo (34) para cepillar una aeronave que se va a limpiar, en donde el cepillo (34) está fijado de manera giratoria al brazo (14) robótico para girar alrededor de un eje (R) de rotación de cepillo; y
- un controlador (56) configurado para controlar la posición del cabezal (32) de limpieza, en donde
- 10 el robot (10) de limpieza de aeronaves está configurado para orientar automáticamente el cepillo (34) de tal manera que una cara (37) de limpieza del cabezal (32) de limpieza esté alineada con la superficie que se está cepillando, en donde
- el controlador (56) está configurado para, con base en las entradas procedentes del brazo (14) robótico y/o del cabezal (32) de limpieza
- determinar una dirección de limpieza en donde la cara (37) de limpieza está orientada actualmente; y, con base en la dirección de limpieza determinada,
- 15 operar el brazo (14) robótico a lo largo de la dirección de limpieza para aplicar una presión de acoplamiento de cepillo en dicha dirección de limpieza, en donde
- el brazo (14) robótico comprende un conjunto de articulaciones (18; 22; 28; 50a; 50b) que comprenden una primera articulación (18; 22; 50a; 50b) y una segunda articulación (28); y
- 20 el controlador (56) está configurado para controlar la posición del cabezal (32) de limpieza con respecto al portador (12) móvil operando el brazo (14) robótico, y para conducir el portador (12) móvil a lo largo de la aeronave que se va a limpiar, a la vez que limpia la aeronave (68), en donde el controlador (56) está configurado para
- detectar un cambio de distancia entre el portador (12) móvil y la aeronave (68), y con base en dicho cambio de distancia detectado,
- 25 operar una (28) de dichas primera y segunda articulaciones (18; 22; 28; 50a; 50b) para mantener una presión de acoplamiento de limpieza deseada entre el cabezal (32) de limpieza y la aeronave; y
- operar la otra (18; 22; 28; 50a; 50b) de dichas primera y segunda articulaciones (18; 22; 28; 50a; 50b) para mantener una elevación del cabezal (32) de limpieza, en donde
- 30 el cabezal (32) de limpieza está proporcionado con un detector (42a-c) de ángulo de acoplamiento de cepillo configurado para detectar un ángulo (β) de acoplamiento de cepillo entre una cara (35) de cepillado del cepillo (34) y la superficie (73) que se está cepillado; y
- el controlador (56) está configurado para controlar la orientación del cabezal (32) de limpieza con base en el ángulo (β) de acoplamiento de cepillo detectado.
2. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicha segunda articulación (28) es una articulación pivotante, y dicha primera articulación es una articulación (22) pivotante, una articulación (18) giratoria, o una articulación (50a; 50b) telescópica.
- 35 3. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la primera articulación es una articulación (22) pivotante, y el brazo (14) robótico tiene al menos un primer segmento (20) de brazo, el cual está conectado al portador (12) móvil a través de la primera articulación (22) pivotante, y un segundo segmento (26) de brazo, el cual está conectado al primer segmento (20) de brazo a través de la segunda articulación (28) pivotante.
- 40 4. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el controlador (56) está configurado para
- recibir una entrada de control, indicando la entrada de control una dirección de movimiento deseada del cabezal (32) de limpieza;
- 45 determinar, con base en dicha entrada de control y en una función de transferencia, una dirección de movimiento y una magnitud de movimiento de articulación respectivas de cada articulación del conjunto de articulaciones que comprenden dichas primera y segunda articulaciones (22, 28) pivotantes para generar un movimiento del cabezal (32) de limpieza en dicha dirección de movimiento deseada; y, con base en la dirección de movimiento y la magnitud de movimiento calculadas,
- 50 operar simultáneamente cada articulación (22, 28) de dicho conjunto de articulaciones para mover el cabezal (32) de limpieza en dicha dirección de movimiento deseada.

5. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la determinación de la dirección de movimiento y la magnitud de movimiento de articulación respectivas de las articulaciones del conjunto de articulaciones (22, 28) comprende
- 5 determinar las coordenadas actuales del cabezal (32) de limpieza con base en la función de transferencia y en las posiciones actuales del conjunto de articulaciones;
- determinar las coordenadas objetivo con base en la entrada de control;
- determinar una posición objetivo de cada articulación del conjunto de articulaciones (22, 28) con base en la función de transferencia y las coordenadas objetivo; y
- 10 determinar la dirección de movimiento y la magnitud de movimiento de articulación respectivas de cada articulación de dicho conjunto de articulaciones (22, 28) con base en las posiciones actual y objetivo de la articulación respectiva.
6. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-5, en donde dicha función de transferencia está configurada para generar dicho movimiento del cabezal (32) de limpieza a lo largo de una línea sustancialmente recta.
- 15 7. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-6, en donde dicha función de transferencia está configurada para generar dicho movimiento del cabezal (32) de limpieza a lo largo de un eje de un sistema (L, V, T) de coordenadas alineado con una aeronave (68) que se va a limpiar.
8. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-7, en donde el controlador (56) está configurado para recibir dicha entrada de control procedente de un operario a través de una interfaz (46) de usuario.
- 20 9. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-8, en donde el controlador (56) está configurado para, con base en una instrucción cambiar la dirección de movimiento del cabezal (32) de limpieza, aumentar gradualmente un valor de control que determina la velocidad de giro de una primera articulación (22; 28) de dicho conjunto de articulaciones (22, 28), a la vez que disminuye gradualmente un valor de control que determina la velocidad de giro de una segunda articulación (28; 22) de dicho conjunto de articulaciones (22, 28).
- 25 10. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3-9, en donde el controlador (56) está configurado para
- mover el cabezal (32) de limpieza en una dirección (L) sustancialmente horizontal a lo largo de la aeronave (68), a la vez que limpia la aeronave (68); y
- 30 determinar si se mueve el cabezal (32) de limpieza en la dirección (L) horizontal operando el brazo (14) robótico, conduciendo el portador (12) móvil a lo largo de la aeronave (68), o ambos.
11. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 10, en donde dicha determinación se realiza con base en una ruta (PLF, PLR) de limpieza predeterminada del cabezal (32) de limpieza.
12. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el controlador (56) está configurado para generar datos de limpieza para su almacenamiento, comprendiendo los datos de limpieza una presión de acoplamiento de cepillo y/o un tiempo de acoplamiento de cepillo para cada una de una pluralidad de posiciones del cabezal (32) de limpieza.
- 35 13. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la cara (35) de cepillado está orientada en la dirección radial del eje (R) de rotación de cepillo.
14. El robot de limpieza de aeronaves de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el detector de ángulo (42a-c) de acoplamiento de cepillo comprende al menos dos sensores (42a; 42b; 42c) de distancia los cuales están separados axialmente con respecto al eje (R) de rotación de cepillo.
- 40

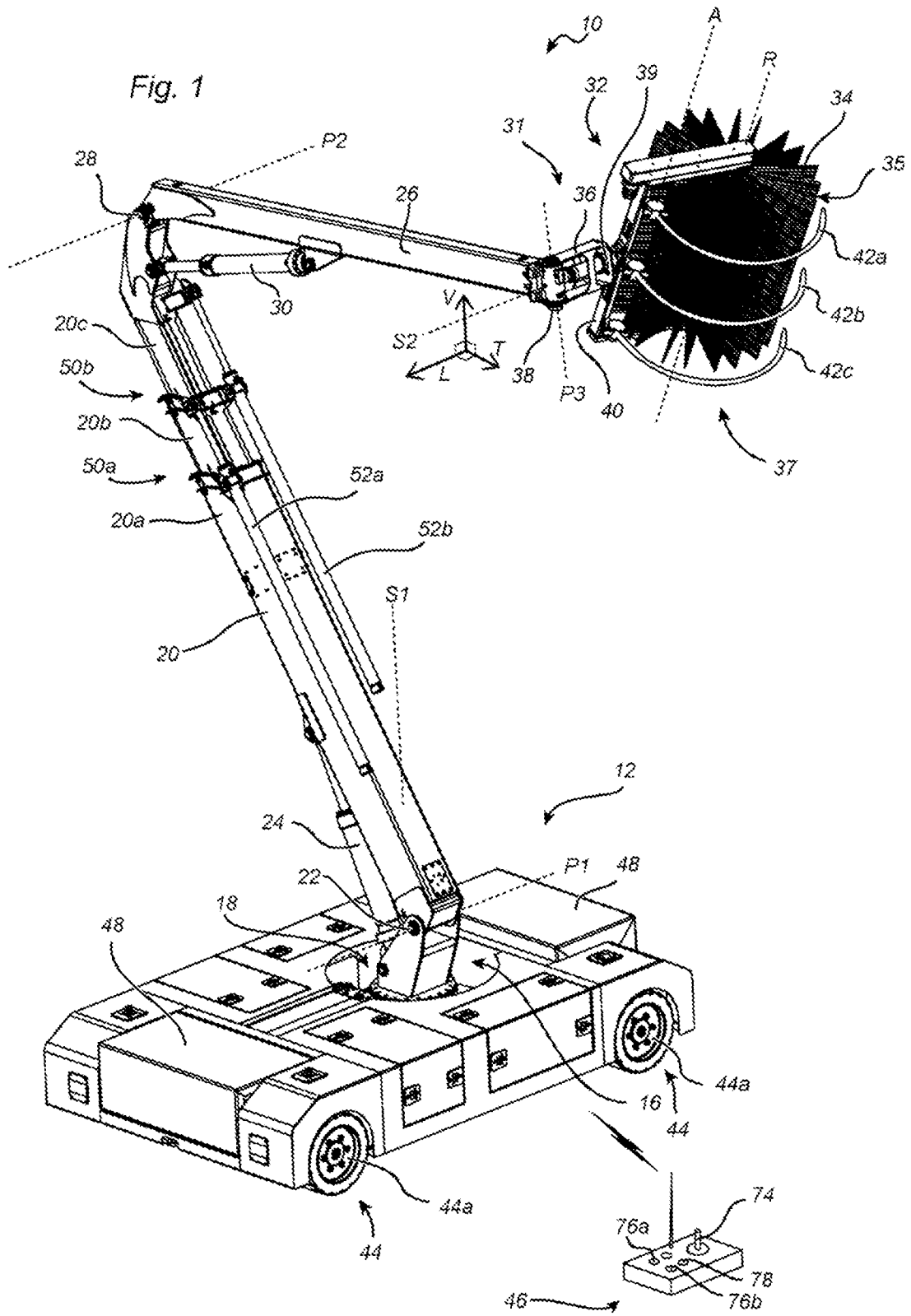


Fig. 2

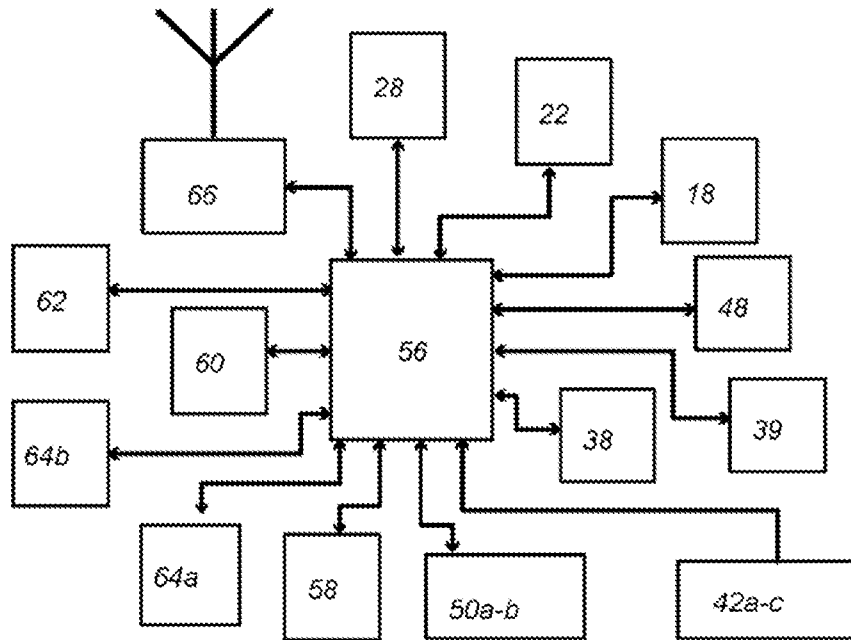
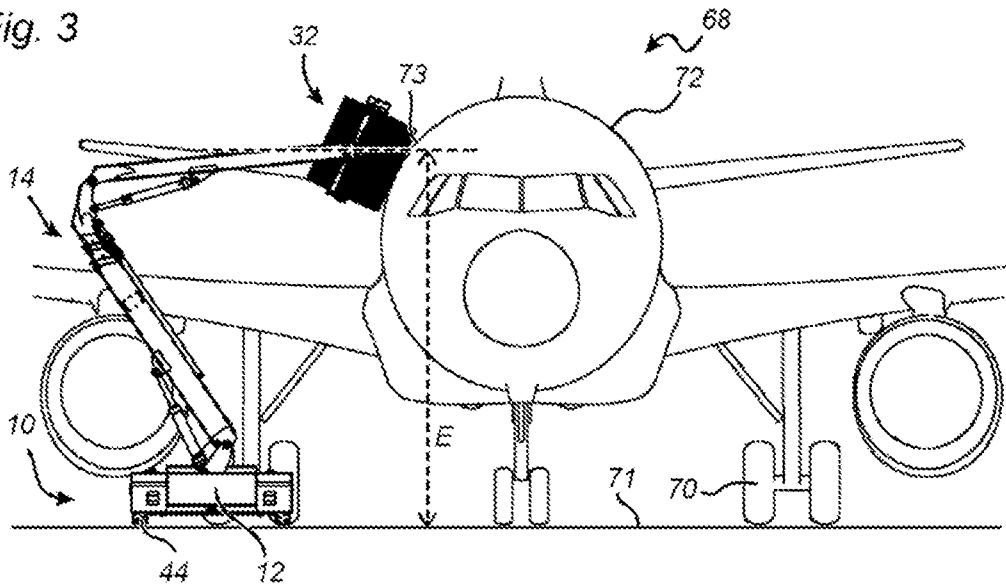


Fig. 3



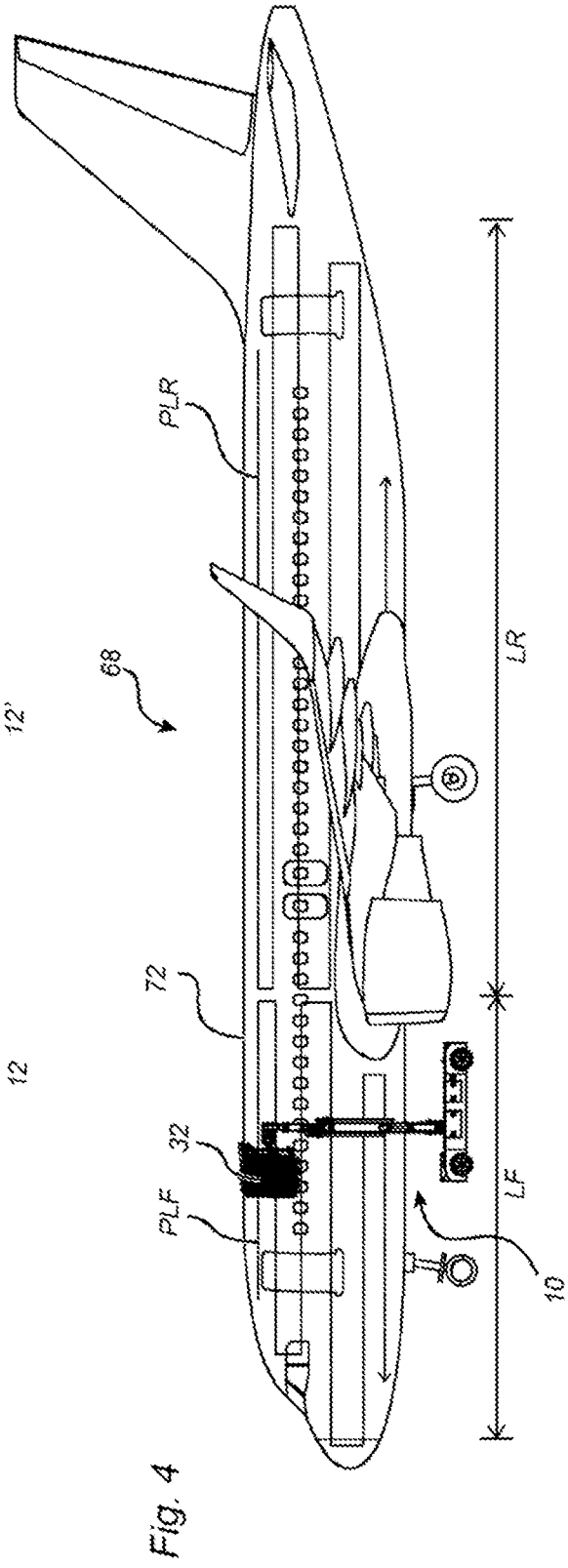
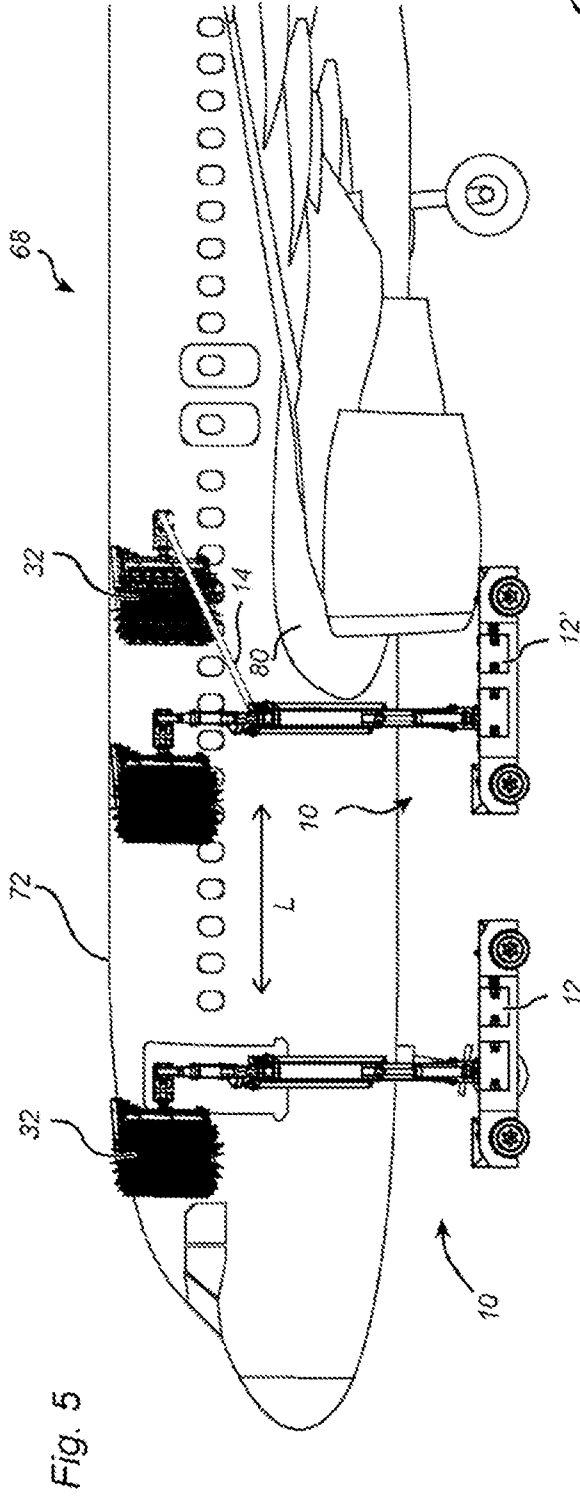


Fig. 6A

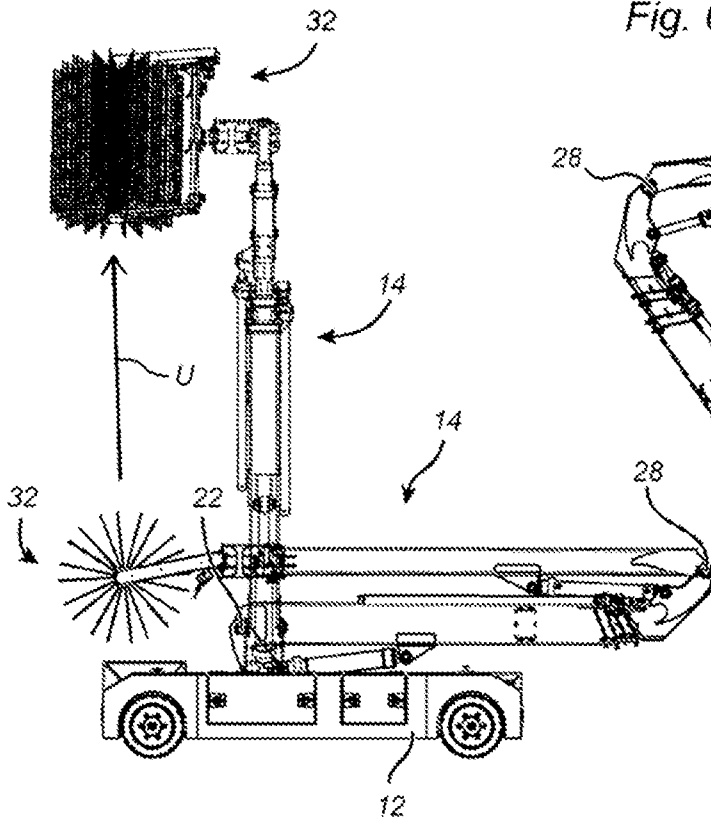


Fig. 6B

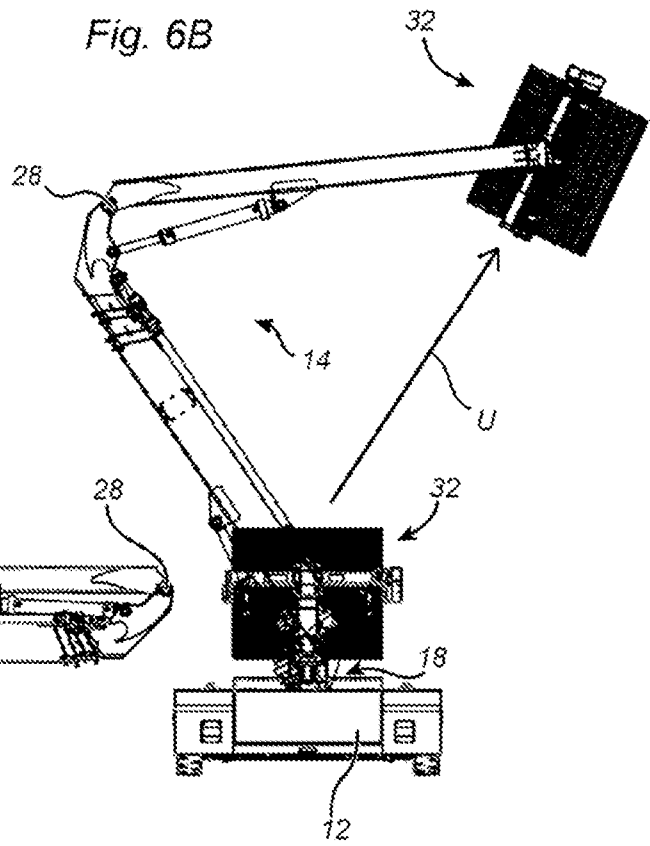


Fig. 6C

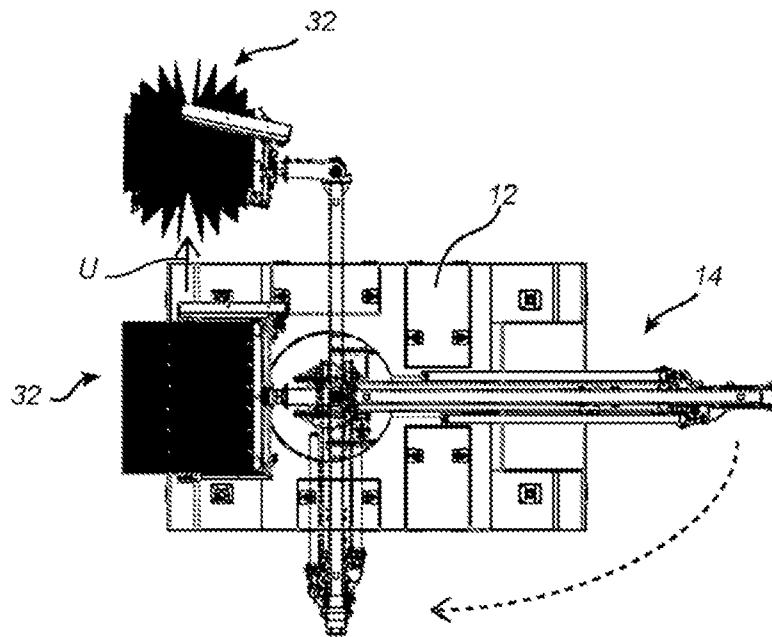


Fig. 7

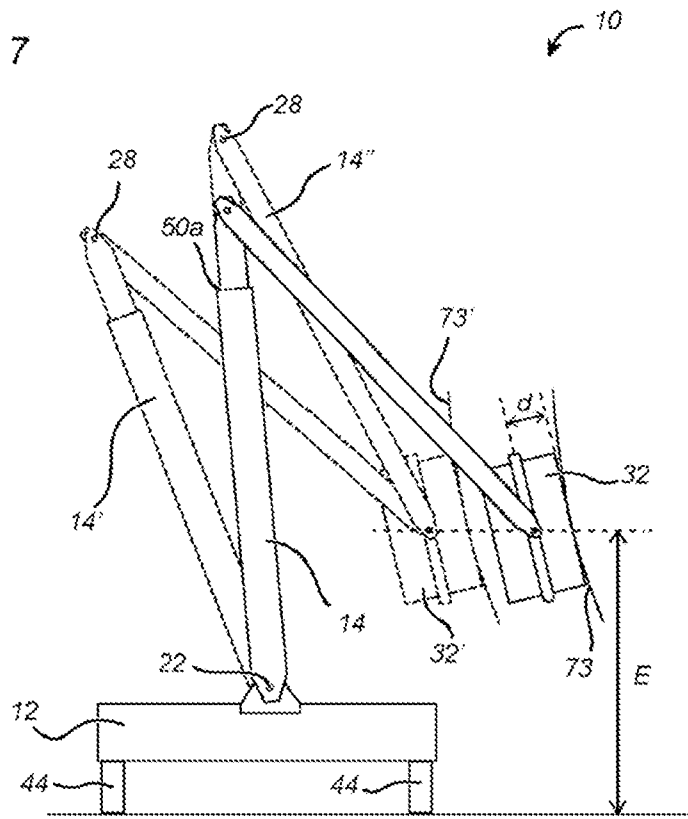


Fig. 8A

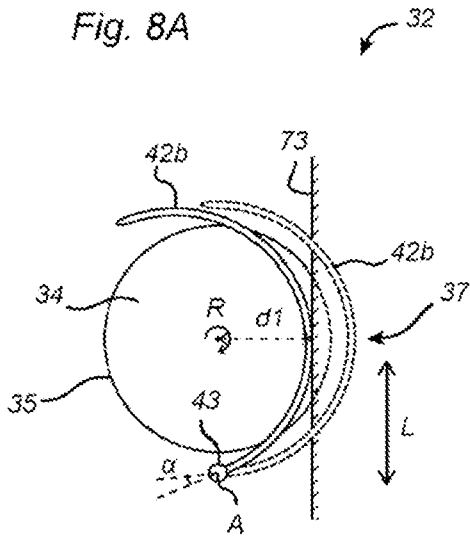


Fig. 8B

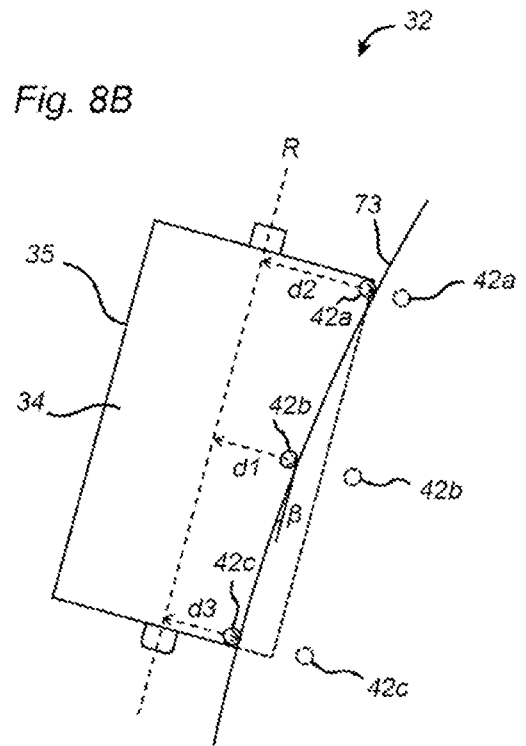


Fig. 9A

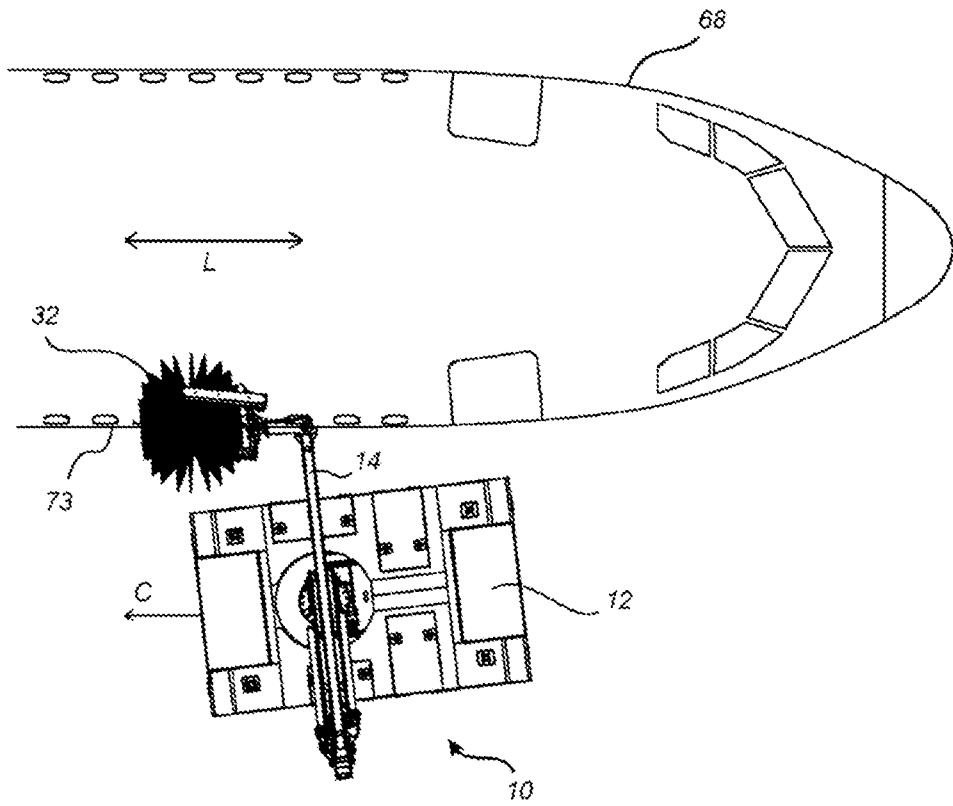


Fig. 9B

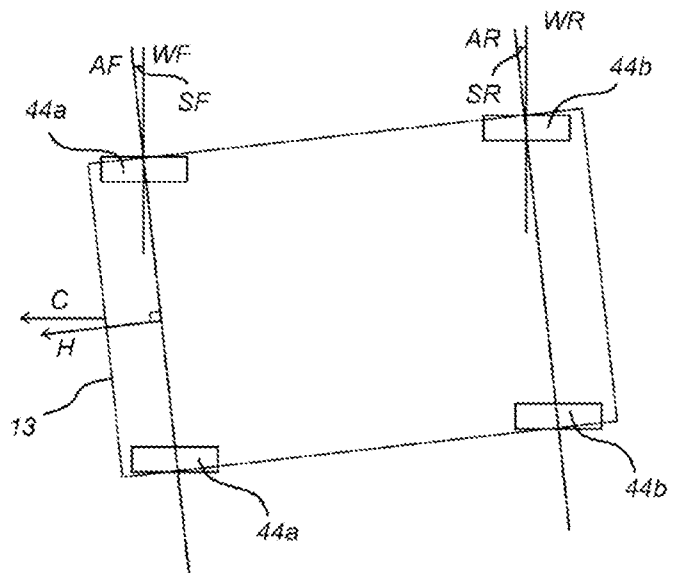


Fig. 10A

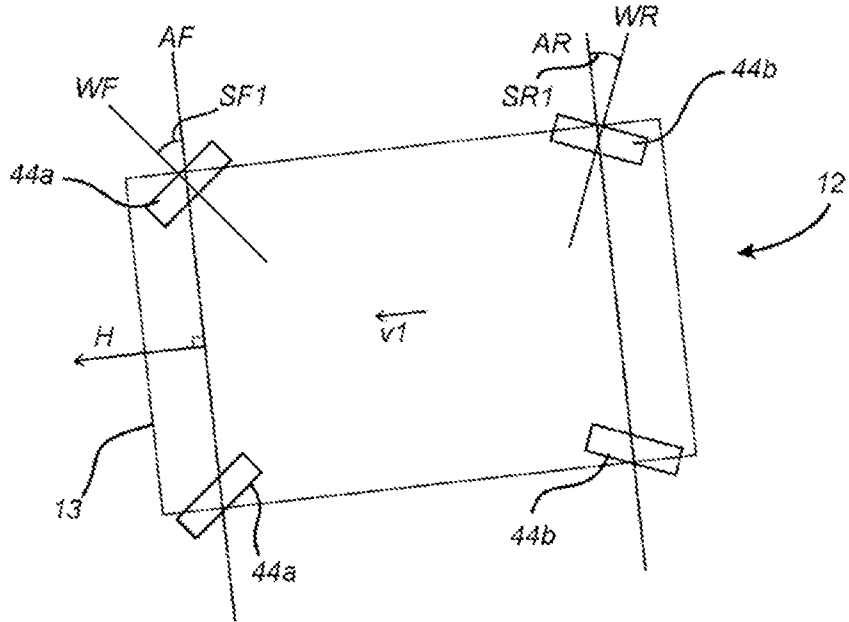


Fig. 10B

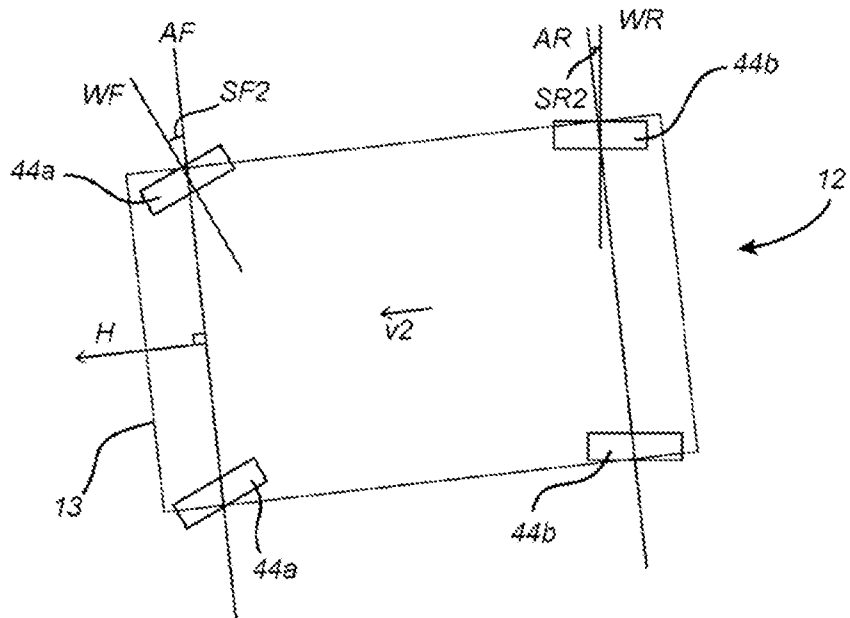


Fig. 11

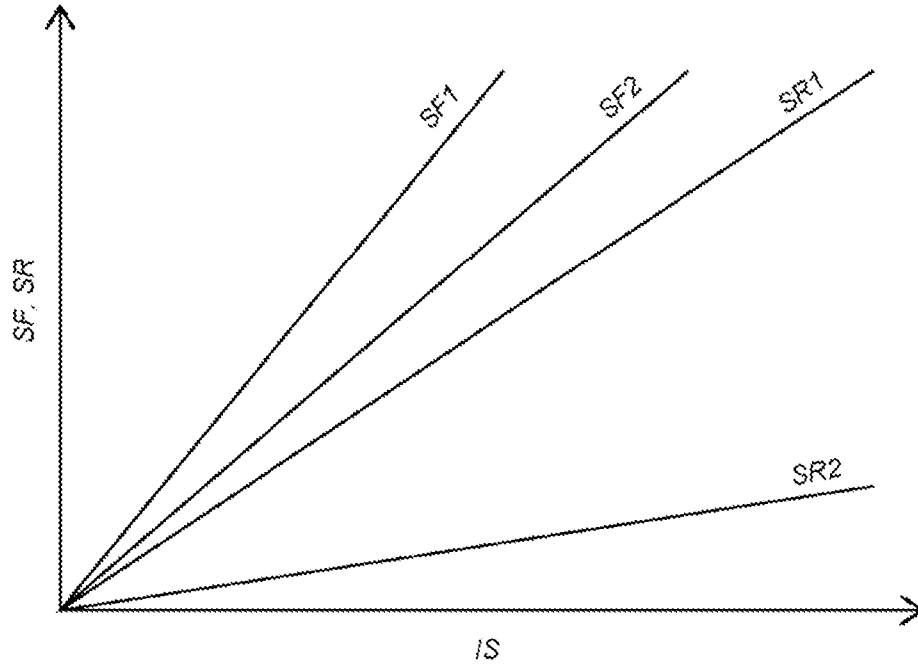


Fig. 12

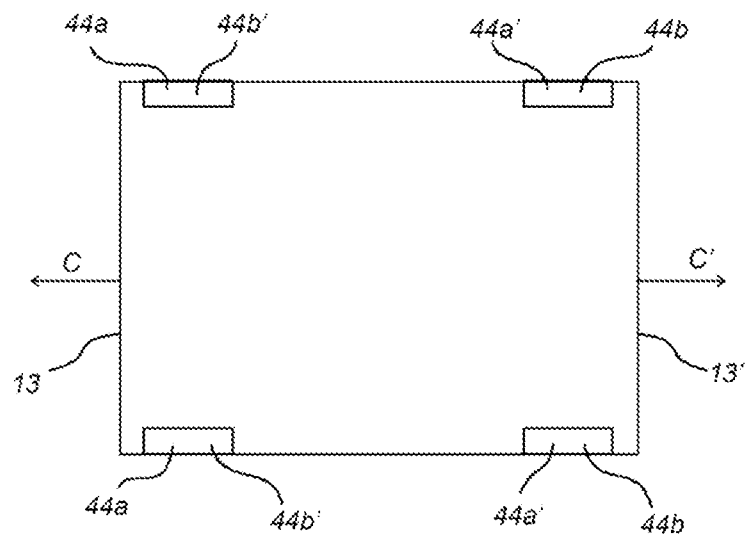


Fig. 13

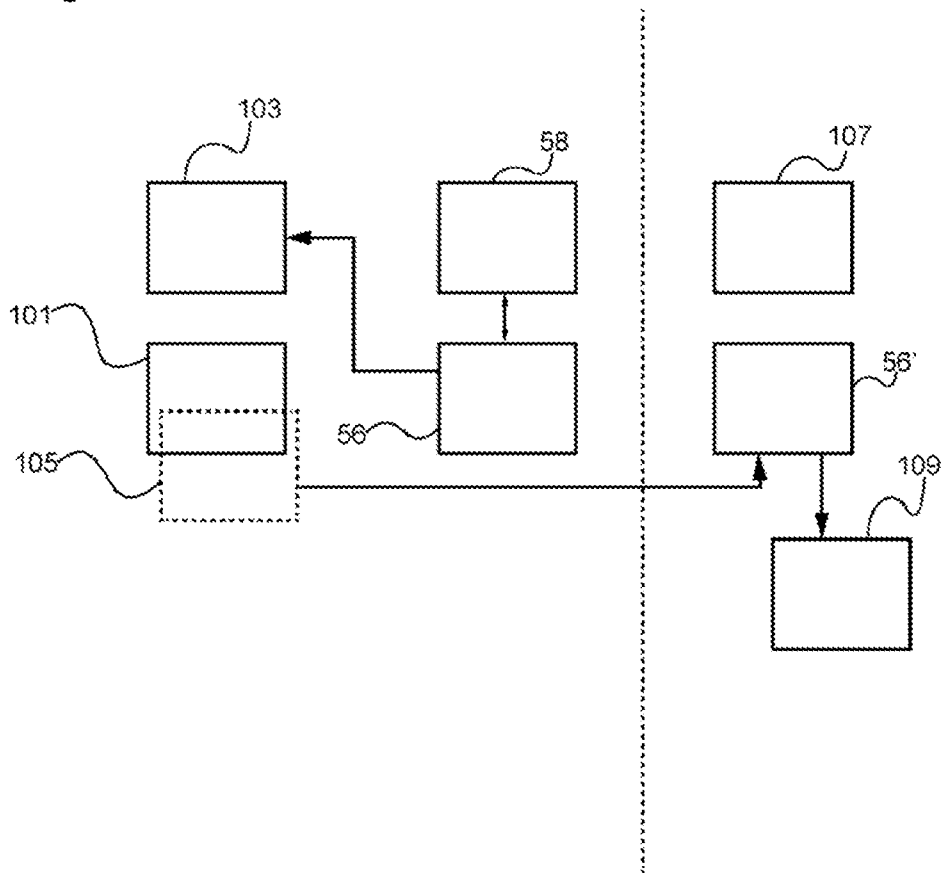


Fig. 14

