

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 929 413**

51 Int. Cl.:

G05B 19/418 (2006.01)

G05B 19/402 (2006.01)

B64F 5/00 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2016** **E 16171696 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.08.2022** **EP 3249482**

54 Título: **Sistema de producción para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo y procedimiento para controlar un sistema de producción**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.11.2022

73 Titular/es:

AIRBUS OPERATIONS GMBH (50.0%)
Kreetslag 10
21129 Hamburg, DE y
CENIT AG (50.0%)

72 Inventor/es:

NEUHAUS, FRANK;
SCHILDT, RAINER;
JUEDES, WOLFGANG y
D'AGOSTINO, NIKOLAI

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 929 413 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

Sistema de producción para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo y procedimiento para controlar un sistema de producción

[0001] La presente invención se refiere a un sistema de producción para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo y a un procedimiento para controlar dicho sistema de producción.

[0002] Los documentos US 2015 / 344 154 A1, US 2014 / 157 588 A1, US 2012 / 130 528 A1 y EP 2 333 626 A2 describen sistemas similares.

[0003] Aunque generalmente se aplica al ensamblaje de cualquier tipo de vehículo o componente de vehículo, en particular componentes grandes de vehículos terrestres, aéreos o acuáticos, la presente invención y el problema en el que se basa se explicarán en mayor detalle con referencia al ensamblaje de fuselaje de aeronaves comerciales de pasajeros.

[0004] La carcasa del fuselaje de una aeronave moderna consiste en material metálico o compuesto, por ejemplo, plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP, por sus siglas en inglés), formado como un armazón rígido de elementos de rigidez que está cubierto por un recubrimiento. El armazón comprende normalmente una serie de marcos doblados en una dirección circunferencial según la forma de la sección transversal del fuselaje y una pluralidad de vigas longitudinales o largueros que están unidos a los marcos. Una carcasa de fuselaje típica se divide en la dirección longitudinal en secciones de carcasa, cada una de las cuales se puede ensamblar individualmente a partir de partes de carcasa más pequeñas. Por ejemplo, una sección de popa de fuselaje de una carcasa de fuselaje se puede ensamblar mediante la unión circunferencial de dos partes de carcasa laterales (que incluyen aberturas de ventana), una parte de carcasa inferior y una parte de carcasa superior para formar una carcasa circunferencial, y mediante el cierre de esta carcasa circunferencial en la dirección de popa con una única sección de cola cónica más pequeña.

[0005] El ensamblaje de dichas secciones de carcasa u otros componentes estructurales grandes, como, por ejemplo, pisos de pasajeros, pisos de carga, etc., de partes de carcasa más pequeñas se gestiona generalmente mediante el posicionamiento de los componentes de aeronave individuales entre sí dentro de un procedimiento iterativo usando una pluralidad de unidades posicionadoras que sujetan y mueven los componentes de aeronave. Con este fin, las unidades posicionadoras pueden estar soportadas por un sistema de posicionamiento automático, que a su vez puede incluir un sistema de medición, por ejemplo, un sistema de seguimiento láser. Sin embargo, el control final en este procedimiento iterativo está comúnmente todavía en manos de un operador humano. Por ejemplo, el operador humano puede tener que intervenir en el procedimiento de posicionamiento automático en caso de que un componente abandone los límites del sistema predefinidos del sistema de posicionamiento. Dichos límites del sistema pueden definirse, por ejemplo, por los límites aceptables en las fuerzas de reacción en los componentes de la aeronave en los puntos de montaje de las unidades posicionadoras que indican las tensiones residuales permitidas en los componentes de la aeronave. El sistema de ensamblaje puede proporcionar información sobre las fuerzas de reacción y las posiciones actuales de los componentes de la aeronave. Con base en esta información, el operador puede iniciar, por ejemplo, después de una parada automática debido a la superación de un límite de fuerza de reacción, otro intento de posicionamiento siguiendo una trayectoria alternativa. Como consecuencia, existe la necesidad de automatizar aún más todo el procedimiento de posicionamiento (véase, por ejemplo, el documento US 2016/0074926 A1).

[0006] En este contexto, un objeto de la presente invención es encontrar soluciones para mejorar el ensamblaje automatizado de componentes de vehículos grandes.

[0007] Este objeto se logra mediante un sistema de producción que tiene las características de la reivindicación 1 y un procedimiento para controlar un sistema de producción que tiene las características de la reivindicación 6. Según un primer aspecto de la invención, un sistema de producción para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo comprende unidades posicionadoras que están configuradas para sujetar el componente de vehículo asociado respectivamente en los puntos de montaje. Las unidades posicionadoras están configuradas además para mover el componente de vehículo asociado respectivamente a una posición de ensamblaje. El sistema de producción comprende además un sistema de medición de posición que está configurado para determinar la posición de ensamblaje de cada componente de vehículo. El sistema de producción comprende además sensores de fuerza que están configurados para determinar las fuerzas y/o momentos de reacción de cada componente de vehículo sujeto en los puntos de montaje en la posición de ensamblaje. El sistema de producción comprende además un sistema de control computarizado que está en comunicación de datos con las unidades posicionadoras, el sistema de medición de posición y los sensores de fuerza. El sistema de control computarizado está configurado para controlar las unidades posicionadoras en función de las posiciones de ensamblaje determinadas y las fuerzas y/o momentos de reacción determinados de los componentes de vehículo.

[0008] Según un segundo aspecto de la invención, un procedimiento para controlar un sistema de producción para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo comprende sujetar cada componente de vehículo con

unidades posicionadoras asociadas respectivamente en los puntos de montaje. El procedimiento comprende además mover cada componente de vehículo con las unidades posicionadoras asociadas respectivamente a una posición de ensamblaje. El procedimiento comprende además determinar la posición de ensamblaje de cada componente de vehículo con un sistema de medición de posición. El procedimiento comprende además determinar las fuerzas y/o momentos de reacción de cada componente de vehículo sujeto con sensores de fuerza en los puntos de montaje en la posición de ensamblaje. El procedimiento comprende además comunicar datos entre un sistema de control computarizado y las unidades posicionadoras, el sistema de medición de posición y los sensores de fuerza. El procedimiento comprende además controlar las unidades posicionadoras mediante el sistema de control computarizado en función de las posiciones de ensamblaje determinadas y las fuerzas y/o momentos de reacción determinados de los componentes de vehículo.

[0009] Una idea de la presente invención es proporcionar y mejorar un ensamblaje automatizado de componentes de vehículo grandes, en particular componentes estructurales de aeronave, a través de redes entre unidades posicionadoras que se utilizan para sostener los componentes de vehículo y llevarlos a una posición de ensamblaje. En particular, en la construcción de aeronaves, los componentes individuales del vehículo con formas geométricas complejas pueden tener que estar cuidadosamente orientados en un espacio tridimensional entre sí, lo que impone altas exigencias en el procedimiento de posicionamiento. La introducción de redes interactivas entre los componentes del sistema de producción proporciona la ventaja de que el procedimiento de posicionamiento puede estar controlado y optimizado por un sistema computarizado, que puede ayudar, complementar o incluso reemplazar a los operadores humanos involucrados convencionalmente en el procedimiento de producción. Para lograr esto, la presente invención proporciona un sistema de producción, donde los componentes del sistema relevantes están en comunicación de datos con un sistema informático de control y, por lo tanto, también entre sí. Con este fin, los componentes del sistema de producción pueden tener un cierto nivel de capacidades de procesamiento de información además de un cierto ancho de banda de capacidades de comunicación de datos. Para complementar las unidades posicionadoras, se proporcionan sistemas de sensores en comunicación de datos con el sistema informático de modo que el estado de las unidades posicionadoras y los componentes de vehículo sujetos se puedan determinar en cualquier momento. Como resultado, el sistema de producción según la invención forma un denominado sistema de producción ciberfísica, que es un sistema de producción compuesto por entidades físicas, es decir, un sistema de producción física de sensores y unidades posicionadoras, etc., controlado y supervisado por un sistema de control computarizado. Debido al enlace de datos entre las entidades físicas y el sistema informático, se pueden emplear algoritmos computarizados avanzados para controlar, regular, dirigir y/u optimizar aspectos del procedimiento de ensamblaje.

[0010] El sistema de producción según la invención proporciona un sistema de medición para determinar la posición actual de los componentes de vehículo en el espacio tridimensional, es decir, no solo se proporciona una coordenada tridimensional de ciertos puntos de referencia, sino que también se tiene en cuenta la orientación del componente dentro del espacio tridimensional según la invención. Las fuerzas y/o momentos de reacción de cada vehículo sujeto en sus puntos de montaje se evalúan mediante sensores de fuerza y se comunican al sistema de control. Por lo tanto, las cargas y tensiones mecánicas de cada componente de vehículo se pueden analizar en cualquier momento y, en función de esta y la posición actual de los componentes de vehículo, el sistema de control puede hacer que las unidades posicionadoras muevan los componentes de vehículo. De este modo, un sistema de ensamblaje autooptimizado semiautónomo o completamente autónomo puede estar diseñado incluso para el ensamblaje de componentes estructurales grandes y complejos de aeronaves y/o naves espaciales.

[0011] Según la invención, un componente de vehículo puede sujetarse y moverse mediante una única unidad posicionadora o mediante varias de dichas unidades al unísono. Por ejemplo, una parte grande de fuselaje alargado de una aeronave de pasajeros puede estar sujeta por varias unidades posicionadoras dispuestas a lo largo del eje longitudinal del componente. Por lo tanto, estas unidades posicionadoras están acopladas mecánicamente a través del componente de vehículo que se va a posicionar. Una única unidad posicionadora puede estar provista de uno o varios medios de sujeción, por ejemplo, brazos de sujeción o similares, y, por lo tanto, puede sujetar y/o sostener los componentes de vehículo en varios puntos de montaje al mismo tiempo.

[0012] Realizaciones y mejoras ventajosas de la presente invención se encuentran en las reivindicaciones subordinadas.

[0013] Según la invención, el sistema de control computarizado comprende un sistema multiagente que incluye agentes posicionadores. Cada unidad posicionadora puede estar vinculada activamente a un agente posicionador asociado. Los agentes posicionadores pueden proporcionarse particularmente como agentes de *software*. Hoy en día, la tecnología de redes está ampliamente disponible en la industria. Sin embargo, las capacidades de procesamiento de información de los componentes del sistema de producción actual son bastante limitadas con respecto a la potencia de cálculo y el acceso a datos a fuentes centrales o distribuidas como datos de modelo de producto y datos de planificación de procedimientos. Además, ciertos miembros en la cadena de procesamiento pueden no tener ninguna capacidad de procesamiento de datos en absoluto, por ejemplo, componentes de producto o vehículo que necesitan estar involucrados en la red de comunicación de un sistema de producción. Con el fin de resolver esta falta, se puede proporcionar una representación digital del sistema de producción para crear un canal de comunicación flexible entre

todos los componentes relevantes del sistema de producción a través de una representación digital. La representación digital está compuesta por representantes virtuales de los componentes relevantes del sistema de producción física. Cada componente del sistema de producción virtual está vinculado a su contraparte física para recibir o enviar información entre sí. Con el fin de (auto)optimizar el procedimiento de producción mediante el intercambio y el procesamiento de información, el procesamiento de comunicación y de información puede realizarse en la representación digital. Para tal fin, cada componente del sistema de producción virtual puede representarse como un agente de *software* dentro de un sistema multiagente. Opcionalmente, el acceso de datos a las bases de datos también se puede lograr a través de las capacidades de comunicación del sistema multiagente. A través del canal de comunicación entre los componentes del sistema de producción física y la representación virtual, la información del componente del sistema de producción (por ejemplo, los valores del sensor) se puede considerar para el procesamiento de información en los agentes vinculados. Las acciones procesadas por los agentes también se pueden iniciar en el componente del sistema de producción física a través del enlace de datos. La comunicación entre los componentes del sistema de producción se realiza a través de la comunicación entre los agentes. Con este enfoque técnico, incluso los componentes del sistema de producción heredado con un ancho de banda de comunicación de datos y capacidades de procesamiento de información limitadas pueden transformarse en un sistema de producción más sofisticado. En resumen, la red entre los componentes del sistema de producción y, en particular, entre las unidades posicionadoras puede, por lo tanto, realizarse a través de una representación digitalizada del sistema de ensamblaje en forma de un sistema multiagente.

[0014] El sistema multiagente comprende además agentes componentes de vehículo según la invención. Cada componente de vehículo puede estar vinculado de forma pasiva a un agente de componente de vehículo asociado. Los agentes de componente de vehículo pueden proporcionarse particularmente como agentes de *software*. Cada componente de vehículo puede estar vinculado de forma pasiva al agente de componente de vehículo asociado en función de los datos de identificación y configuración del respectivo componente de vehículo. Con este fin, el sistema puede leer *in situ* los datos de identificación y configuración de cada componente de vehículo, por ejemplo, mediante un número de identificación único a través de etiquetas de identificación, por ejemplo, códigos de barra/QR, etiquetas RFID o similares. En función de los números de identificación únicos, los datos de identificación y configuración se pueden proporcionar a partir de una base de datos, datos CAD (diseño asistido por ordenador o *computer-aided design*, CAD) o similares. En tal realización, incluso los propios componentes de vehículo pueden integrarse en una representación de *software* del sistema de producción incluso sin tener ninguna capacidad de red *per se*. Por lo tanto, el agente de componente de vehículo correspondiente está vinculado de forma pasiva al componente de vehículo en el sentido de que el sistema de control computarizado no está configurado para controlar activamente el componente de vehículo directamente de ninguna manera, sino solo indirectamente a través de las unidades posicionadoras. Por el contrario, las unidades posicionadoras están vinculadas activamente a los agentes posicionadores en el sentido de que el sistema de control puede controlar activamente las unidades posicionadoras a través de los agentes posicionadores.

[0015] Según una realización de la invención, los sensores de fuerza pueden comprender celdas de carga o similares que están montadas en las unidades posicionadoras. En una realización, las unidades posicionadoras pueden, por ejemplo, estar equipadas con pinzas y/o brazos de pinza, a los que se pueden acoplar las celdas de carga. Cada celda de carga puede crear una señal eléctrica cuya magnitud es proporcional a la fuerza o momento que se mide. Se pueden usar diferentes tecnologías como celdas de carga piezoeléctricas, hidráulicas, neumáticas, etc. Las celdas de carga pueden proporcionar información sobre fuerzas y/o momentos en los puntos de montaje de los componentes de vehículo en las unidades posicionadoras, que a su vez pueden emplearse para corregir la posición y/o trayectoria de uno o varios componentes de vehículo dentro de un espacio tridimensional. Los datos de fuerza y momento se pueden usar localmente para cada unidad posicionadora asociada. De manera alternativa o adicional, los datos de fuerza y momento se pueden utilizar globalmente mediante el intercambio de estos datos entre las unidades posicionadoras o mediante la optimización global de la posición del componente de vehículo teniendo en cuenta varias o todas las unidades posicionadoras al mismo tiempo.

[0016] Según una realización de la invención, el sistema de medición de posición puede comprender un rastreador láser o similar, por ejemplo, un sistema de fotogrametría o similar. Los rastreadores láser o interferómetros de rastreo son particularmente adecuados para el ensamblaje de componentes de aeronaves grandes, ya que estos instrumentos son capaces de medir con precisión objetos grandes en una distancia de varios metros con una exactitud en el régimen submilimétrico. Con este fin, se puede colocar un rastreador láser en el suelo a varios metros de los componentes de vehículo con una vista sin obstrucciones de ellos.

[0017] Según una realización de la invención, el sistema de producción puede configurarse para el ensamblaje automatizado de componentes estructurales de una aeronave o nave espacial. Por lo tanto, el procedimiento se puede usar para ensamblar componentes estructurales de una aeronave o nave espacial.

[0018] Según una realización de la invención, cada unidad posicionadora puede estar controlada según una desviación de la posición de ensamblaje determinada del respectivo componente de vehículo desde una posición de ensamblaje nominal del respectivo componente de vehículo.

[0019] Según una realización de la invención, las unidades posicionadoras pueden controlarse colectivamente para minimizar las desviaciones de las posiciones de ensamblaje determinadas de los componentes de vehículo de las posiciones de ensamblaje nominales de los componentes de vehículo. Por lo tanto, dos o más unidades posicionadoras pueden controlarse colectivamente. Por ejemplo, dos o más unidades posicionadoras vecinas que
5 juntas sostienen un componente de vehículo grande pueden controlarse y dirigirse en cooperación. Sin embargo, en principio todas las unidades posicionadoras de uno o varios sistemas de ensamblaje pueden controlarse y optimizarse conjuntamente como un grupo. Por ejemplo, dos sistemas de ensamblaje básicamente separados pueden interactuar a través del sistema de control de modo que ciertos algoritmos de control optimizados y entrenados en uno de los dos sistemas de ensamblaje puedan utilizarse también para el otro sistema de ensamblaje. Una de las muchas ventajas
10 de la presente invención es que todas las unidades posicionadoras son datos vinculados al sistema de control, de modo que la programación y ejecución de los comandos de control pueden realizarse únicamente sobre una base de *software* dentro del sistema de control. Por lo tanto, no se requiere ninguna cantidad adicional o desproporcionadamente alta de esfuerzo adicional para controlar todas las unidades posicionadoras de un sistema de ensamblaje colectivamente.

[0020] Según una realización de la invención, las desviaciones pueden minimizarse teniendo en cuenta las fuerzas y/o momentos de reacción determinados en los puntos de montaje de los componentes de vehículo. Por ejemplo, el ensamblaje automatizado de los principales componentes de la aeronave compuestos por CFRP causa ciertos desafíos. Debido al procedimiento de producción de los componentes de CFRP, la exactitud de la forma
20 geométrica puede presentar una banda de tolerancia más amplia *per se*, de modo que los datos de posicionamiento teóricos a partir de datos CAD o similares pueden no ser suficientes para impulsar el procedimiento de ensamblaje. Con el fin de asegurarse de que las tensiones residuales en el componente ensamblado permanezcan muy por debajo de ciertos límites, el posicionamiento se puede controlar con el fin de mantener las fuerzas y pares de reacción en los puntos de montaje por debajo de un cierto límite. La posición final o nominal del componente ensamblado puede ser
25 un equilibrio apropiado entre la fuerza de reacción y la exactitud de posicionamiento.

[0021] Según una realización de la invención, las desviaciones pueden minimizarse en función de una red neuronal que representa el comportamiento de cada unidad posicionadora. Usando una red neuronal, el sistema puede "aprender" de actividades de posicionamiento anteriores creando un modelo de comportamiento de autoaprendizaje
30 de los componentes individuales del sistema, que luego se puede usar para actividades de posicionamiento posteriores o futuras para hacer las manipulaciones apropiadas automáticamente. La red neuronal puede entrenarse, por ejemplo, en función de los datos de entrada de un sistema de ensamblaje controlado por un operador humano. De manera alternativa o adicional, la red neuronal se puede entrenar en función de las operaciones de prueba en función de los componentes de vehículo predefinidos. Las redes neuronales ofrecen muchas ventajas, particularmente para
35 sistemas de ensamblaje complejos, por ejemplo, que involucran componentes principales de aeronaves hechos de material no isotrópico, ya que se pueden emplear enfoques empíricos para determinar un modelo de comportamiento apropiado. Para la configuración de un modelo de comportamiento basado en una red neuronal, no hay necesidad de una comprensión analítica de los detalles físicos involucrados. Una comprensión analítica detallada del procedimiento involucrado puede no ser práctica o no ser posible en absoluto, ya que los aspectos no lineales pueden determinarlo.
40 Sin embargo, una red neuronal se puede adaptar a dichos procedimientos tomando el entrenamiento sobre la base de un número de conjuntos de datos de actividades de posicionamiento anteriores o datos de entrenamiento derivados de secuencias de movimiento predefinidas. Con el fin de definir modelos de comportamiento reutilizables, puede ser ventajoso clasificar las situaciones de posicionamiento individuales en función de las posiciones de sujeción con respecto a los componentes individuales del vehículo. Por ejemplo, el componente de aeronave puede tener una
45 rigidez local mucho mayor cerca de una abertura de puerta debido a una mayor cantidad de componentes de rigidización (marcos estructurales radiales) que en otras posiciones de sujeción donde el componente de aeronave puede estar equipado solo con rigidizadores locales orientados axialmente (vigas). Un modelo de comportamiento clasificado con una red neuronal se puede aplicar como una instancia de control para corregir la trayectoria de posicionamiento nominal en función de los datos que se generan durante el procedimiento de posicionamiento,
50 incluyendo vectores de fuerza de reacción, vectores de par de reacción, vectores de distancia entre pinzas vecinas, fuerza de reacción y vectores de par de las pinzas vecinas, y así sucesivamente. Con base en una clasificación adecuada de las situaciones de posicionamiento, los modelos de comportamiento se pueden reutilizar en situaciones de posicionamiento similares. Cada procedimiento de posicionamiento podría ayudar a mejorar una red neuronal definida adecuada para cualquier procedimiento de posicionamiento posterior hasta un óptimo teórico. La clasificación
55 de una situación de posicionamiento puede depender de la capacidad de la unidad posicionadora, por ejemplo, el brazo de sujeción, el área de sujeción, los grados de libertad de la unidad posicionadora, etc. Siguiendo dicho enfoque, el procedimiento de posicionamiento puede estar representado por un bucle de control. El componente de control en el bucle puede basarse en una red neuronal que representa el comportamiento del sistema local en cada unidad posicionadora individual. El comportamiento del sistema describe la relación no lineal entre los vectores de fuerza de
60 reacción, las desviaciones posicionales, las desviaciones de forma y las desviaciones entre las posiciones de sujeción nominales y reales.

[0022] La invención se explicará en mayor detalle con referencia a realizaciones ejemplares representadas en los dibujos como se adjuntan.

[0023] Los dibujos adjuntos proporcionan una comprensión adicional de la presente invención.

[0024] Los dibujos ilustran las realizaciones de la presente invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. Otras realizaciones de la presente invención y muchas de las ventajas previstas de la presente invención se apreciarán fácilmente a medida que se comprendan mejor por referencia a la siguiente descripción detallada. Los elementos de los dibujos no son necesariamente a escala entre sí. En las figuras, los números de referencia similares denotan componentes similares o funcionalmente similares, a menos que se indique lo contrario.

10 **[0025]** Las figuras 1a, 1b muestran esquemáticamente vistas en perspectiva del ensamblaje de una sección de fuselaje de una aeronave ejemplar (vista en despiece en la figura 1a y vista ensamblada en la figura 1b).

[0026] La figura 2 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento para controlar un sistema de producción para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo según una realización de la invención.

15 **[0027]** La figura 3 representa esquemáticamente un sistema de producción para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo según una realización de la invención tal como se utiliza en la figura 2.

[0028] Las figuras 4a, 4b muestran esquemáticamente sistemas de producción para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo según realizaciones adicionales de la invención.

[0029] Las figuras 1a y 1b muestran esquemáticamente vistas en perspectiva del ensamblaje de una sección de fuselaje de una aeronave 100 ejemplar, por ejemplo, una aeronave comercial de pasajeros.

25 **[0030]** Específicamente, la figura 1a representa una sección de popa de fuselaje de una carcasa de fuselaje de la aeronave 100 en vista en despiece. La sección de popa del fuselaje está ensamblada a partir de una multitud de componentes de vehículo 1 más pequeños, por ejemplo, hechos de metal, aleación de metal y/o material compuesto como CFRP o similar, que comprende dos partes de carcasa laterales (que incluyen aberturas de ventana y puerta), una parte de carcasa inferior, una parte de carcasa superior, un piso de pasajero y una sección de cola cónica. Las partes de carcasa están unidas circunferencialmente alrededor del piso de pasajeros para formar una carcasa circunferencial, que a continuación se cierra en la dirección de popa con la sección de cola cónica. El ensamblaje de estos componentes de vehículo 1 se muestra en la figura 1b. El procedimiento de ensamblaje se puede ejecutar mediante procedimientos y sistemas de producción según realizaciones de la invención tal como se describirán a continuación. Sin embargo, será evidente para el experto en la técnica que el procedimiento y el sistema de producción según la invención se pueden usar para ensamblar y fabricar muchos otros tipos de vehículos o componentes de vehículo que difieren en forma o configuración de los ejemplos ilustrados. A efectos solamente ilustrativos, las figuras 1-4 abordan el ensamblaje de una sección de popa de fuselaje de aeronave de pasajeros. En principio, las realizaciones del procedimiento y el sistema de producción, tal como se describirán a continuación, pueden utilizarse no solo para el ensamblaje de aeronaves de pasajeros o secciones de aeronaves de pasajeros, sino también en aplicaciones generales dentro de la industria del transporte, por ejemplo, en vehículos terrestres, acuáticos o aéreos. Sin embargo, las realizaciones de la invención descritas en la presente solicitud son particularmente ventajosas para el ensamblaje de componentes de vehículo 1 grandes, en particular componentes estructurales de la aeronave 100.

[0031] La figura 2 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento M para controlar un sistema de producción para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo 1 según una realización de la invención. La figura 3 ilustra un sistema de producción 50, tal como se utiliza en el procedimiento M de la figura 2, para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo 1 según una realización de la invención. El procedimiento M comprende, bajo M1, sujetar cada componente de vehículo 1 con unidades posicionadoras 2 asociadas respectivamente en los puntos de montaje 7. Para este propósito, cada unidad posicionadora 2 está equipada con uno o varios brazos de sujeción o similares, con los cuales la unidad posicionadora 2 puede acoplarse al componente de vehículo 1 en un cierto punto de montaje 7 de modo que el componente de vehículo 1 se pueda procesar adicionalmente. Un componente de vehículo 1 se puede sujetar por una única unidad posicionadora 2 o por varias unidades posicionadoras 2. En la representación de ejemplo en la figura 3, se muestran dos componentes de vehículo 1, cada uno de los cuales representa una parte lateral de fuselaje de una aeronave de pasajeros, por ejemplo, como la que se muestra en las figuras 1a, 1b. Cada parte lateral está sujeta por dos unidades posicionadoras 2 dispuestas a lo largo del eje longitudinal del componente, de modo que las unidades posicionadoras 2 están acopladas mecánicamente a través de la parte lateral que se va a posicionar. Sin embargo, el experto reconocerá fácilmente que muchas otras variaciones de la disposición representada en la figura 3 están incluidas en la presente invención. Por ejemplo, cada componente de vehículo 1 puede igualmente estar sujeto por una única unidad posicionadora 2 o más de dos unidades posicionadoras 2. Cada unidad posicionadora 2 puede estar provista de uno o varios medios de sujeción, por ejemplo, brazos de sujeción o similares, y, por lo tanto, puede sujetar y/o sostener los componentes de vehículo 1 en varios puntos de montaje 7 al mismo tiempo.

[0032] Todavía con referencia a las figuras 2 y 3, el procedimiento M comprende además, bajo M2, mover cada componente de vehículo 1 con las unidades posicionadoras 2 asociadas respectivamente a una posición de

ensamblaje 3. Con este fin, las unidades posicionadoras 2 pueden, por ejemplo, estar montadas en rieles que permitan moverlas en una dirección específica. Además, los medios de sujeción de las unidades posicionadoras 2 pueden configurarse para moverse en diferentes direcciones espaciales para cambiar la posición, así como la orientación, las inclinaciones, etc., del componente de vehículo 1. De esta manera, los componentes de vehículo 1 pueden moverse desde una posición de ensamblaje 3 a otra posición de ensamblaje 3', que puede ser, por ejemplo, una posición de ensamblaje nominal 3'.

[0033] Como una etapa adicional, el procedimiento M comprende, bajo M3, determinar la posición de ensamblaje 3 de cada componente de vehículo 1 con un sistema de medición de posición 4. El sistema de medición de posición 4 puede ser, por ejemplo, un rastreador láser o interferómetro de rastreo similar, un sistema de fotogrametría o cualquier otro sistema de medición adecuado para el caso de uso en cuestión, es decir, en este caso el ensamblaje de componentes de aeronaves grandes. El procedimiento M comprende además, bajo M4, determinar las fuerzas y/o momentos de reacción de cada componente de vehículo 1 sujeto con sensores de fuerza 5 en los puntos de montaje 7 en la posición de ensamblaje 3. Los sensores de fuerza 5 pueden montarse en las unidades posicionadoras 2 junto a los puntos de montaje 7 y pueden estar acoplados a las pinzas o brazos de pinza. Los sensores de fuerza 5 pueden comprender celdas de carga piezoeléctricas, hidráulicas, neumáticas o mecánicas u otros medios adecuados que son capaces de proporcionar una señal cuya magnitud es proporcional a la fuerza o momento que se está midiendo. Las celdas de carga proporcionan información sobre fuerzas y/o momentos en los puntos de montaje 7 de los componentes de vehículo 1 en las unidades posicionadoras 2. Los respectivos datos de fuerza y momento de reacción se pueden usar a continuación para corregir la posición y/o trayectoria de uno o varios componentes de vehículo dentro de las dimensiones espaciales. Los datos de fuerza y momento se pueden usar localmente para cada unidad posicionadora asociada 2 y/o globalmente teniendo en cuenta los respectivos datos de las unidades posicionadoras 2 adyacentes o, por ejemplo, todas las demás unidades posicionadoras 2.

[0034] Las unidades posicionadoras 2, el sistema de medición de posición 4, los sensores de fuerza 5, los componentes de vehículo 1, etc., forman un sistema de producción física 9. El sistema de producción física 9 está integrado en y controlado por un sistema de control computarizado 20. Correspondientemente, el procedimiento M comprende además, bajo M5, comunicar datos entre el sistema de control computarizado 20 y las unidades posicionadoras 2, el sistema de medición de posición 4 y los sensores de fuerza 5. El intercambio de datos en sí mismo se ilustra en la figura 3 mediante flechas que conectan los componentes individuales del sistema de producción física 9 con el sistema de control computarizado 20. La conexión en sí puede ser inalámbrica o por cable o puede depender de cualquier otra tecnología de red y de intercambio de datos adecuada. El sistema de producción física 9 y el sistema de control computarizado 20 forman juntos un sistema de producción 50 en forma de un sistema de producción ciberfísica, es decir, un sistema compuesto por entidades físicas, que están controladas y supervisadas por un sistema computarizado sobre la base de algoritmos informáticos. Más específicamente, el sistema de control computarizado 20 puede incluir un sistema multiagente 10 basado en *software* con múltiples agentes de *software* que interactúan con las entidades correspondientes en el entorno físico. El sistema multiagente 10 sirve como una representación digital del sistema de producción física 9. En particular, el sistema multiagente 10 de esta realización incluye agentes posicionadores 12 de *software*, cada uno de los cuales está vinculado activamente a una unidad posicionadora 2 asociada. Los agentes posicionadores 12 y las unidades posicionadoras 2 están vinculados activamente en el sentido de que el sistema de control computarizado 20 puede controlar activamente las unidades posicionadoras 2 a través de los agentes posicionadores 12 y las unidades posicionadoras 2 a su vez pueden interactuar con el sistema de control computarizado 20. Para este propósito, las unidades posicionadoras 2 pueden tener un cierto nivel de capacidades de procesamiento de información además de un cierto ancho de banda de capacidades de comunicación de datos. El sistema multiagente 10 comprende además agentes de componente de vehículo 11, donde cada componente de vehículo 1 se vincula de forma pasiva a un agente de componente de vehículo 11 asociado. Los componentes de vehículo 1, en particular en el caso de los componentes estructurales de la aeronave, generalmente no tienen ninguna capacidad de procesamiento de datos o redes. Con el fin de incluir estos componentes en la representación digital del sistema de producción física 9, es decir, el sistema multiagente 10, cada componente de vehículo 1 puede estar vinculado de forma pasiva al agente asociado del componente de vehículo 11 en función de los datos de identificación y configuración del respectivo componente de vehículo 1, por ejemplo, un número de identificación o datos CAD. Por ejemplo, un componente de vehículo 1 específico puede identificarse por medio de una etiqueta de identificación (por ejemplo, etiquetas de código de barras/QR o etiquetas RFID) que proporciona un número de identificación único. Con este número de identificación único, se pueden asignar datos de producto y configuración relevantes a este componente de vehículo 1 particular, que luego define el agente de componente de vehículo 11 asociado utilizado en la representación digital del sistema multiagente 10. Para este propósito, el sistema de control computarizado 20 se puede conectar a una respectiva base de datos 8 o similar. Por lo tanto, el componente de vehículo 1 está vinculado de forma pasiva al agente de componente de vehículo asociado 11 en el sentido de que el componente de vehículo 1 no puede estar controlado activamente por el sistema de control computarizado 20, ni puede comunicarse directamente con el sistema. Sin embargo, el componente de vehículo 1 puede estar controlado mediante el sistema de control computarizado 20 indirectamente a través de las unidades posicionadoras 2, que están conectadas a los respectivos agentes posicionadores 12.

[0035] Específicamente, el procedimiento M comprende además, bajo M6, controlar las unidades posicionadoras 2 mediante el sistema de control computarizado 20 en función de las posiciones de ensamblaje 3

determinadas y las fuerzas y/o momentos de reacción determinados de los componentes de vehículo 1. Más específicamente, cada unidad posicionadora 2 puede estar controlada según una desviación de la posición de ensamblaje 3 determinada del respectivo componente de vehículo 1 de una posición de ensamblaje nominal 3' del respectivo componente de vehículo 1. Además, varias o todas las unidades posicionadoras 2 pueden estar controladas colectivamente para minimizar y/u optimizar de otro modo las desviaciones de las posiciones de ensamblaje 3 determinadas de los componentes de vehículo 1 de las posiciones de ensamblaje nominales 3' de los componentes de vehículo 1. En particular, las desviaciones se pueden minimizar y/u optimizar teniendo en cuenta las fuerzas y/o momentos de reacción determinados en los puntos de montaje 7 de los componentes de vehículo 1. Para esto, el sistema de control computarizado 20 puede incluir o estar conectado a un modelo de simulación 6, por ejemplo, basado en redes neuronales 13 que pueden, por ejemplo, representar el comportamiento de cada unidad posicionadora 2.

[0036] El sistema de ensamblaje automatizado mejorado según la invención se basa, entre otras cosas, en las siguientes características: optimización de ensamblaje automatizado a través de la red entre las unidades posicionadoras 2 dentro de un sistema de producción 50; realización de redes entre unidades posicionadoras a través de una representación digitalizada del sistema de producción física 9 en forma de un sistema multiagente 10; y optimización del ensamblaje a través de un procedimiento de aprendizaje automático o modelo de simulación, en particular una red neuronal 13. En los sistemas de ensamblaje o producción convencionales, las decisiones para manipular el procedimiento de posicionamiento son en gran medida aún manejadas por un operador humano. La presente invención sigue el nuevo enfoque para permitir que el sistema "aprenda" de las actividades de posicionamiento anteriores mediante la creación de un modelo de comportamiento de autoaprendizaje de los componentes del sistema de posicionamiento individual. Este modelo de comportamiento de los componentes del sistema se puede utilizar para futuras actividades de posicionamiento para realizar las manipulaciones correctas automáticamente. Los algoritmos informáticos avanzados se pueden utilizar dentro de la representación digital del sistema de producción física 9.

[0037] Varias modificaciones y variantes de la presente invención serán claras para el experto en la materia. Se proporcionan dos ejemplos en las figuras 4a y 4b, que muestran esquemáticamente sistemas de producción 50 para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo 1 según realizaciones adicionales de la invención. La figura 4a muestra un único sistema de ensamblaje con un sistema de producción física 9 que incluye un sistema de medición de posición 4 y unidades posicionadoras 2, que están controladas por un sistema de control computarizado 20. El sistema de medición de posición 4 y las unidades posicionadoras 2 interactúan entre sí y con el sistema de control computarizado 20. En función de algoritmos de aprendizaje automático dedicados que se ejecutan en el sistema de control computarizado 20, el sistema de producción 50 puede aprender sobre el procedimiento de ensamblaje y optimizar el procedimiento de posicionamiento en función de esto. La figura 4b ilustra un ejemplo extendido de esto. Aquí, dos sistemas de producción física 9 (por ejemplo, cada uno de ellos configurado como el de la figura 4a) están conectados entre sí y se controlan conjuntamente a través del sistema de control computarizado 20. En principio, los componentes individuales de ambos sistemas de producción física 9 pueden intercambiar datos directamente entre sí. Por lo tanto, ambas estaciones de ensamblaje pueden aprender juntas o individualmente sobre el procedimiento de ensamblaje y optimizar el procedimiento de posicionamiento en consecuencia.

Lista de signos de referencia

[0038]

45	1	componente de vehículo
	2	unidad posicionadora
	3	posición de ensamblaje
	3'	posición de ensamblaje nominal
	4	sistema de medida de posición
50	5	sensor de fuerza
	6	modelo de simulación
	7	punto de montaje
	8	base de datos
	9	sistema de producción física
55	10	sistema multiagente
	11	agente de componente de vehículo
	12	agente posicionador
	13	red neuronal
	20	sistema de control computarizado
60	50	sistema de producción
	100	aeronave
	M	procedimiento
	M1	etapa de procedimiento
	M2	etapa de procedimiento
65	M3	etapa de procedimiento

M4 etapa de procedimiento
M5 etapa de procedimiento
M6 etapa de procedimiento

REIVINDICACIONES

1. Sistema de producción (50) para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo (1), que comprende:

las unidades posicionadoras (2) están configuradas para sujetar el componente de vehículo (1) asociado respectivamente en los puntos de montaje (7) y mover el componente de vehículo (1) asociado respectivamente a una posición de ensamblaje (3);
un sistema de medición de posición (4) que está configurado para determinar la posición de ensamblaje (3) de cada componente de vehículo (1);
sensores de fuerza (5) que están configurados para determinar las fuerzas y/o momentos de reacción de cada componente de vehículo (1) sujeto en los puntos de montaje (7) en la posición de ensamblaje (3); y
un sistema de control computarizado (20) que se encuentra en comunicación de datos con las unidades posicionadoras (2), el sistema de medición de posición (4) y los sensores de fuerza (5), y que está configurado para controlar las unidades posicionadoras (2) en función de las posiciones de ensamblaje (3) determinadas, incluyendo la orientación del componente de vehículo (1) dentro del espacio tridimensional, y las fuerzas y/o momentos de reacción determinados de los componentes de vehículo (1);
donde el sistema de control computarizado (20) comprende un sistema multiagente (10) que incluye agentes posicionadores (12), siendo cada agente posicionador (12) un representante virtual de una unidad posicionadora (2) asociada, que es la contraparte física del respectivo agente posicionador (12), estando los agentes posicionadores (12) en comunicación entre sí dentro del sistema multiagente (10), estando configurado el sistema de control computarizado (20) para controlar activamente cada unidad posicionadora (2) mediante el agente posicionador (12) asociado; y
donde el sistema multiagente (10) comprende además agentes de componente de vehículo (11), siendo cada agente de componente de vehículo (11) un representante virtual de un componente de vehículo (1) asociado, estando los agentes de componente de vehículo (11) en comunicación con los agentes posicionadores (12) dentro del sistema multiagente (10), estando configurado el sistema de control computarizado (20) para controlar cada componente de vehículo (1) indirectamente a través de las unidades posicionadoras (2).

2. Sistema de producción (50) según la reivindicación 1, donde cada componente de vehículo (1) está vinculado al agente de componente de vehículo (11) asociado basado en los datos de identificación y configuración del respectivo componente de vehículo (1).

3. Sistema de producción (50) según una de las reivindicaciones anteriores, donde los sensores de fuerza (5) comprenden celdas de carga que están montadas en las unidades posicionadoras (2).

4. Sistema de producción (50) según una de las reivindicaciones anteriores, donde el sistema de medición de posición (4) comprende un rastreador láser.

5. Sistema de producción (50) según una de las reivindicaciones anteriores, donde el sistema de producción (50) está configurado para el ensamblaje automatizado de componentes estructurales de una aeronave o nave espacial (100).

6. Procedimiento (M) para controlar un sistema de producción (50) para el ensamblaje automatizado de componentes de vehículo (1), que comprende:

sujetar (M1) cada componente de vehículo (1) con unidades posicionadoras (2) asociadas respectivamente en los puntos de montaje (7);
mover (M2) cada componente de vehículo (1) con las unidades posicionadoras (2) asociadas respectivamente a una posición de ensamblaje (3);
determinar (M3) la posición de ensamblaje (3) de cada componente de vehículo (1) con un sistema de medición de posición (4);
determinar (M4) las fuerzas y/o momentos de reacción de cada componente de vehículo (1) sujeto con sensores de fuerza (5) en los puntos de montaje (7) en la posición de ensamblaje (3);
comunicar (M5) datos entre un sistema de control computarizado (20) y las unidades posicionadoras (2), el sistema de medición de posición (4) y los sensores de fuerza (5); y
controlar (M6) las unidades posicionadoras (2) mediante el sistema de control computarizado (20) en función de las posiciones de ensamblaje (3) determinadas, incluyendo la orientación del componente de vehículo (1) dentro del espacio tridimensional, y
las fuerzas y/o momentos de reacción determinados de los componentes de vehículo (1);
donde el sistema de control computarizado (20) comprende un sistema multiagente (10) que incluye agentes posicionadores (12), siendo cada agente posicionador (12) un representante virtual de una unidad posicionadora (2) asociada, que es la contraparte física del respectivo agente posicionador (12), comunicándose los agentes posicionadores (12) entre sí dentro del sistema multiagente (10), controlando activamente el sistema de control computarizado (20) cada unidad posicionadora (2) a través del agente posicionador (12) asociado; y

- donde el sistema multiagente (10) comprende además agentes de componente de vehículo (11), siendo cada agente de componente de vehículo (11) un representante virtual de un componente de vehículo (1) asociado, comunicándose los agentes de componente de vehículo (11) con los agentes posicionadores (12) dentro del sistema multiagente (10), controlando el sistema de control computarizado (20) cada componente de vehículo (1) indirectamente a través de las unidades posicionadoras (2).
- 5 7. Procedimiento (M) según la reivindicación 6, donde cada unidad posicionadora (2) está controlada según una desviación de la posición de ensamblaje (3) determinada del respectivo componente de vehículo (1) de una posición de ensamblaje nominal (3') del respectivo componente de vehículo (1).
- 10 8. Procedimiento (M) según una de las reivindicaciones 6 a 7, donde las unidades posicionadoras (2) están controladas colectivamente para minimizar las desviaciones de las posiciones de ensamblaje (3) determinadas de los componentes de vehículo (1) de las posiciones de ensamblaje nominales (3') de los componentes de vehículo (1).
- 15 9. Procedimiento (M) según una de las reivindicaciones 6 a 8, donde las desviaciones están minimizadas teniendo en cuenta las fuerzas y/o momentos de reacción determinados en los puntos de montaje (7) de los componentes de vehículo (1).
- 20 10. Procedimiento (M) según una de las reivindicaciones 6 a 9, donde las desviaciones están minimizadas en función de una red neuronal (13) que representa el comportamiento físico de los componentes de vehículo (1) y las unidades posicionadoras (2).
- 25 11. Procedimiento (M) según la reivindicación 10, donde la red neuronal (13) está adaptada tomando el entrenamiento sobre la base de un número de conjuntos de datos de actividades de posicionamiento anteriores o datos de entrenamiento derivados de secuencias de movimiento predefinidas.
12. Procedimiento (M) según una de las reivindicaciones 6 a 11, donde el procedimiento (M) se utiliza para ensamblar componentes estructurales de una aeronave o nave espacial (100).

Fig. 1a

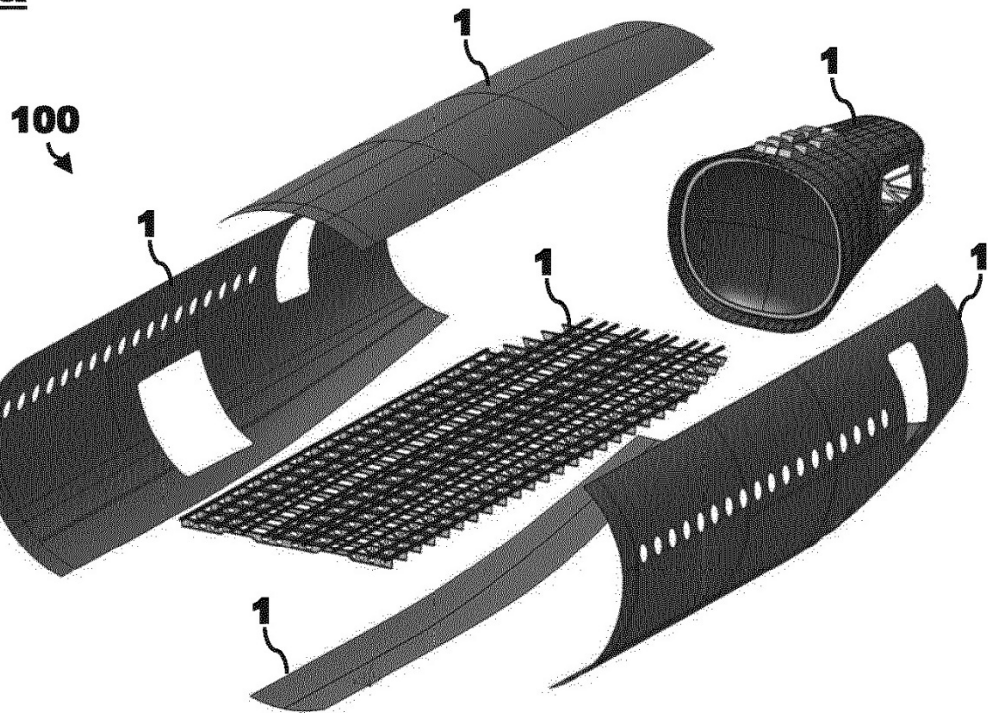


Fig. 1b



Fig. 2

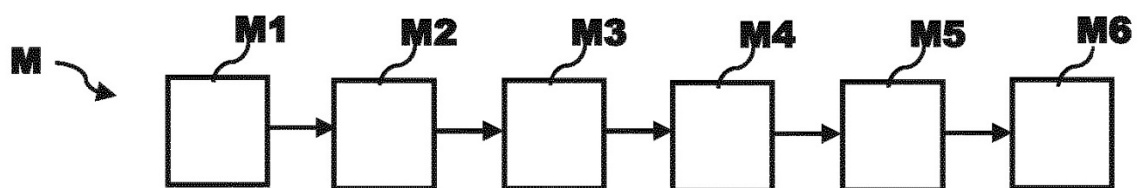


Fig. 3

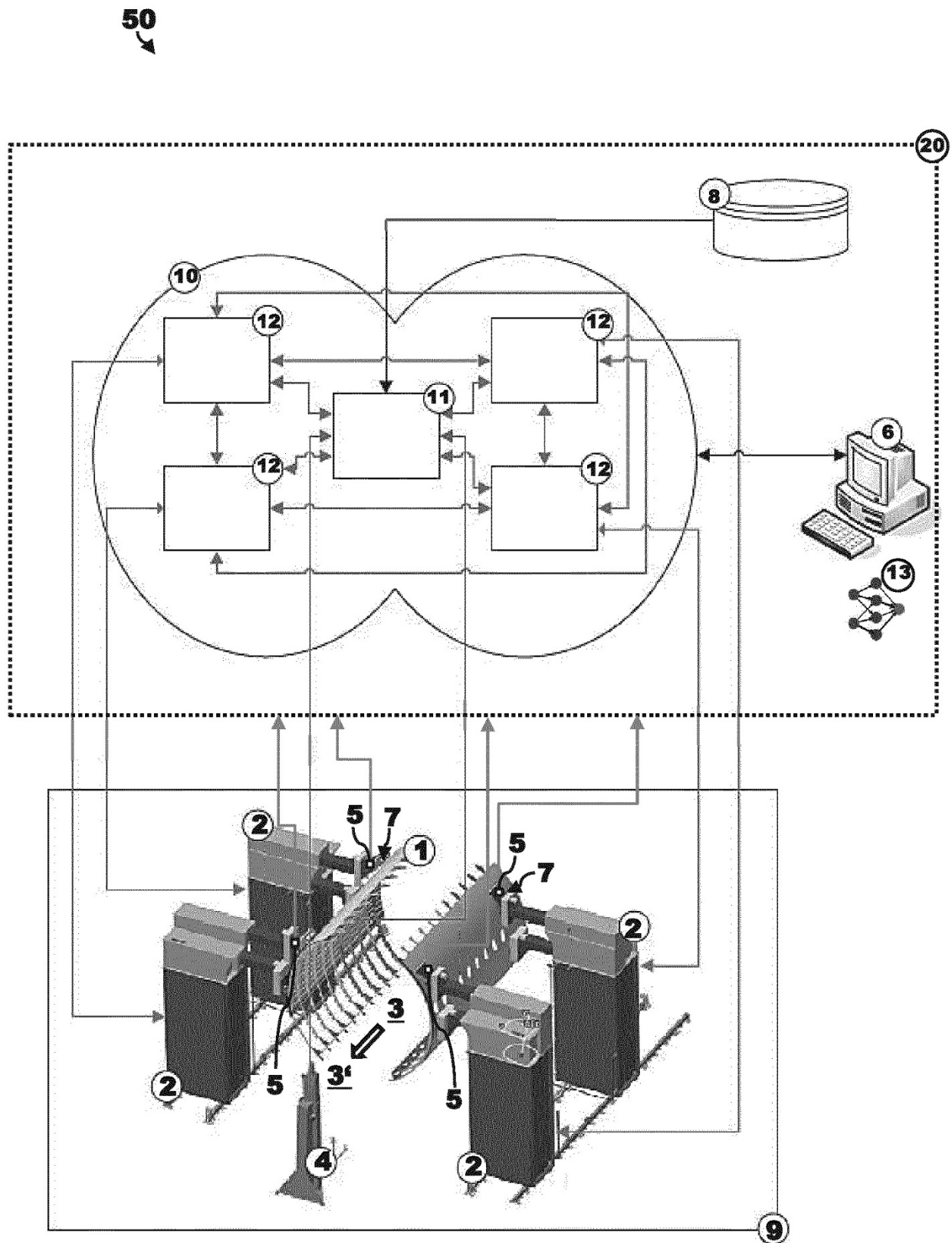


Fig. 4a

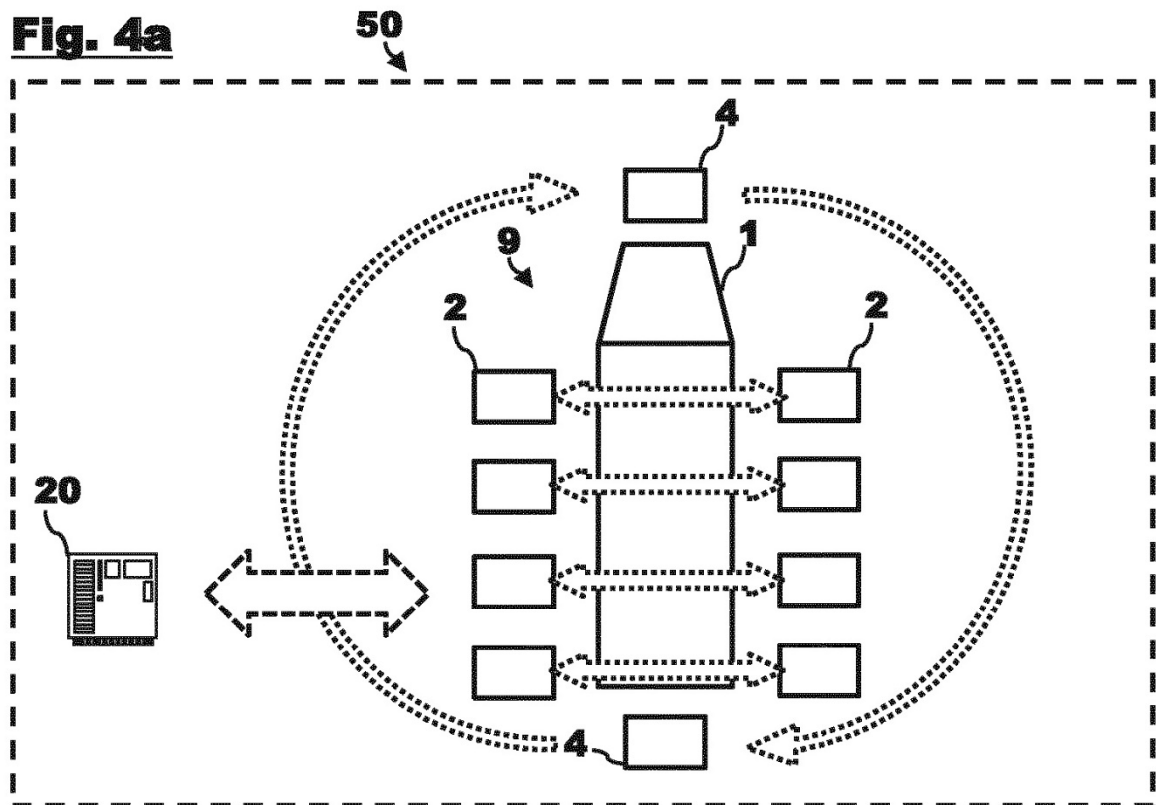


Fig. 4b

