

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 607 136**

51 Int. Cl.:

B25J 9/16

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.06.2013** **PCT/EP2013/062765**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.12.2013** **WO13189994**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2013** **E 13731106 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.10.2016** **EP 2864083**

54 Título: **Plataforma de simulación para la validación de una arquitectura lógica y física de un robot**

30 Prioridad:

20.06.2012 FR 1255805

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

29.03.2017

73 Titular/es:

**UNIVERSITÉ BLAISE PASCAL CLERMONT II
(33.3%)
34, avenue Carnot
63006 Clermont Ferrand Cedex 1, FR;
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (CNRS) (33.3%) y
INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN
SCIENCES ET TECHNOLOGIES POUR
L'ENVIRONNEMENT ET L'AGRICULTURE (33.3%)**

72 Inventor/es:

**DEBAIN, CHRISTOPHE;
MALARTRE, FLORENT;
DELMAS, PIERRE y
CHAPUIS, ROLAND**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 607 136 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

Plataforma de simulación para la validación de una arquitectura lógica y física de un robot.

5 **[0001]** La invención se refiere a una plataforma de simulación para la validación de una arquitectura lógica y física de un robot.

[0002] En adelante, por arquitectura física y lógica de un robot se entenderá un sistema implantado en un robot y constituido por una capa material que consta de un computador, uno o varios sensores y uno o varios
10 automatismos, así como de una capa lógica que consta de un algoritmo cuyas instrucciones son memorizadas por el computador para que este último las ejecute.

[0003] El ciclo de desarrollo de la arquitectura de un robot requiere una etapa de validación, en especial en cada nueva versión del algoritmo ejecutado por el computador, que se lleva a cabo por una prueba en situación.
15

[0004] Durante una prueba, el algoritmo es ejecutado por el computador implantado en el robot mientras que este se encuentra en un entorno real. Este entorno real está constituido, en el caso de un robot móvil, por ejemplo, por un circuito que presenta una pista de ensayo a lo largo de la cual se disponen obstáculos. El objetivo de esta configuración es probar una función particular del robot. Los diferentes datos característicos comportamentales del robot durante la ejecución del algoritmo realizado por el computador, se recogen ya sea a través de sensores instalados (sean estos sensores nativos del robot o sensores adicionales con los que se haya equipado específicamente al robot durante la prueba), ya sea por sensores colocados en el entorno (cámara de observación, por ejemplo).
20

[0005] Tras las pruebas, los diferentes datos recogidos son reenviados a una estación de trabajo, y después sincronizados espacial y temporalmente, antes de ser analizados para evaluar el rendimiento de la arquitectura que se va a validar.

[0006] Esta etapa de validación en situación requiere un tiempo de preparación importante, en particular para equipar al robot de sensores adicionales para la recogida de datos específicos que permitan la validación de la arquitectura que se va a validar, para transportar al robot equipado al lugar de la prueba, para preparar un entorno adaptado, para realizar las pruebas, y para el enviar y sincronizar posteriormente los datos recogidos para su análisis.
30

[0007] Además, una prueba permite en general evaluar el rendimiento de la arquitectura que se va a validar según un único escenario preestablecido, puesto que el entorno se prepara en función de este escenario. Esto implica que hay que multiplicar las pruebas, introduciendo condiciones experimentales diferentes (como la modificación del deslizamiento entre las ruedas del robot y el suelo, la modificación de la iluminación ambiente, etc), si se desea probar de manera exhaustiva el comportamiento del robot y, en particular, las diferentes funciones de la arquitectura que se va a validar. Esto no solo lleva tiempo, sino que no siempre es posible. Además, puede que ciertas funciones no se prueben, porque el entorno real necesario para esta validación sería demasiado complejo o costoso de realizar según se describe en el documento DE 10 2006 036 490 A1.
40

[0008] Por estas razones, hay una necesidad de simplificar esta etapa de validación de la arquitectura lógica y física de un robot, al mismo tiempo que se mejora el nivel de validación.
45

[0009] El objetivo de la invención es responder al problema que se acaba de mencionar.

[0010] Para ello, el objeto de la invención es una plataforma de simulación para la validación de un dispositivo que presenta un computador programado para ejecutar un algoritmo, dicho dispositivo está preparado para ser instalado a bordo de un robot y ser conectado a un sensor del robot para recibir una señal de medida y a un automatismo del robot para transmitirle una señal de mando, la plataforma está preparada para ser conectada al computador y presenta un medio de cálculo para ejecutar las instrucciones de un programa de simulación que presenta:
50

- 55 – un módulo de configuración de un entorno en tres dimensiones, para crear un entorno virtual en tres dimensiones;
- un módulo de simulación de una respuesta del sensor del robot, diseñado para generar datos de salida correspondientes a las señales de medida simuladas, a partir de una modelización del comportamiento del sensor del robot y de datos de entrada constituidos por el entorno virtual creado,

así como por magnitudes cinemáticas calculadas del robot, dichas señales de medida simuladas se introducen en el computador del dispositivo;

- un módulo de simulación de una dinámica del robot, diseñado para calcular las magnitudes cinemáticas del robot, a partir de una modelización del automatismo del robot y de datos de entrada correspondientes a parámetros dinámicos característicos del robot, a las señales de mando emitidas por el computador del dispositivo y al entorno virtual creado,

caracterizado porque el programa de simulación presenta, además, un módulo de planificación temporal que presenta:

- un reloj lógico que proporciona el instante lógico corriente;
- un esquema de planificación, que asocia a cada instante lógico un conjunto de acciones para realizar;
- un sub-módulo de llamada a una acción de simulación para lanzar, en el instante lógico corriente proporcionado por el reloj lógico, y en función del conjunto de las acciones asociadas a ese instante lógico corriente por el esquema de planificación, la realización de una acción de simulación correspondiente a la ejecución del módulo de simulación de la respuesta del sensor o del módulo de simulación de una dinámica del robot; y
- un sub-módulo de llamada de una acción de reacción del robot, para lanzar, en el instante lógico corriente proporcionado por el reloj lógico, y en función del conjunto de las acciones asociadas a este instante lógico corriente por el esquema de planificación, la realización de una acción de respuesta del robot correspondiente al procesamiento por parte del computador del dispositivo de señales de medida simuladas introducidas en el computador en el instante lógico corriente, para generar señales de mando en el instante lógico corriente.

[0011] Según los modos concretos de realización, la plataforma presenta una o varias de las características siguientes, tomada(s) aisladamente o según todas las combinaciones técnicamente posibles:

- un submódulo de simulación del automatismo del robot, que presenta una modelización del automatismo del robot; y
- un submódulo de cálculo de magnitudes cinemáticas y dinámicas para calcular las magnitudes cinemáticas y dinámicas del robot en el instante lógico corriente a partir de los datos de salida del módulo de simulación de la respuesta del automatismo del robot y de las magnitudes cinemáticas y dinámicas del robot en el instante anterior;
- el submódulo de llamada puede emitir una señal de control adaptada enviada al computador del dispositivo, de forma que sincroniza el reloj del computador para pautar la ejecución del algoritmo;
- una interfaz de entrada/salida adaptada para permitir la conexión de dicha plataforma a una variedad de dispositivos que se vayan a validar, cada dispositivo está previsto para ser instalado en un robot correspondiente, y la plataforma, que está asociada a cada dispositivo y por tanto a cada robot, presenta un par de módulos constituido por un módulo de simulación de una respuesta de un sensor de dicho robot y un módulo de simulación de la dinámica de dicho robot.

[0012] Además, la invención tiene por objeto un procedimiento de simulación para la validación de un dispositivo que consta de un computador programado para ejecutar un algoritmo, dicho dispositivo está previsto para ser instalado a bordo de un robot y estar conectado a un sensor del robot para recibir una señal de medida además de a un automatismo del robot para transmitirle una señal de mando, caracterizado porque dicho procedimiento se utiliza sobre una plataforma de simulación como la que se ha definido anteriormente conectado al computador del dispositivo, el procedimiento consiste en:

- crear un entorno virtual en tres dimensiones con el que interactúa dicho robot;
- simular una respuesta del sensor del robot para generar datos de salida correspondientes a señales de medida simuladas, a partir de una modelización del comportamiento del sensor del robot y de datos de entrada constituidos por el entorno virtual creado y por las magnitudes cinemáticas calculadas del robot, dichas señales de medida simuladas se introducen en el computador del dispositivo;
- simular una dinámica del robot para calcular las magnitudes cinemáticas del robot, a partir de una modelización del automatismo del robot y de datos de entrada correspondientes a parámetros dinámicos característicos del robot, a señales de mando emitidas por el computador del dispositivo y al entorno virtual creado;
- planificar temporalmente la llamada a una acción lanzando, en el instante lógico corriente

proporcionado por un reloj lógico y en función del conjunto de las acciones asociadas a dicho instante lógico corriente por un esquema de planificación, la realización de una acción de simulación correspondiente a la ejecución del módulo de simulación de la respuesta del sensor o del módulo de simulación de una dinámica del robot o lanzando, en el instante lógico corriente proporcionado por el reloj lógico y en función del conjunto de las acciones asociadas a dicho instante lógico corriente por el esquema de planificación, la realización de una acción de respuesta del robot correspondiente al procesamiento por el computador del dispositivo de señales de medida simuladas introducidas en el computador en el instante lógico corriente, para generar señales de mando en el instante lógico corriente.

[0013] Según un modo particular de realización:

- la introducción en el computador de una señal de medida simulada con una fecha compatible con el instante lógico corriente;
- la sincronización del reloj del computador que controla la ejecución del algoritmo por la emisión, en el instante lógico corriente, de una señal de mando adaptada por la plataforma enviada a la plataforma; y
- la datación de las señales de mando generadas emitidas por el computador con una fecha correspondiente al instante lógico corriente a lo que se añade el tiempo de procesamiento del computador.

[0014] Otras características y ventajas de la invención se verán más claramente con la descripción detallada que sigue, a título indicativo y no limitativo, que se refiere a los dibujos en los que:

- la figura 1 es una representación esquemática de un robot móvil compuesto por una arquitectura lógica y física;
- la figura 2 es una representación en forma de bloques de un sistema compuesto por una plataforma de simulación y un dispositivo para validar que forman parte de la arquitectura del robot de la figura 1;
- la figura 3 es una representación esquemática del programa de simulación ejecutado por la plataforma de la figura 2; y
- la figura 4 es una representación del procedimiento de simulación utilizado durante la ejecución del programa de simulación de la figura 3.

[0015] En adelante, el término «dispositivo para validar» hace referencia al subconjunto compuesto por un computador y un algoritmo ejecutado por el computador, destinado a ser integrado en la arquitectura física y lógica del robot.

[0016] En referencia a la figura 1, el objeto de la invención es facilitar la validación de un dispositivo para validar 8 previsto para ser estar instalado a bordo de un robot 14.

[0017] En el modo de realización particular descrito a continuación, el robot 14 es móvil, pero, según otro modo de realización, podría ser un brazo articulado de manipulación o de soldadura, etc.

[0018] El dispositivo 8 consiste en un computador 12 programado para realizar un algoritmo 10.

[0019] El computador 12 está compuesto de un procesador 20, una memoria 22, un reloj 24 y una interfaz de entrada/salida 26 para la conexión del computador 12 a periféricos externos que pertenecen a la capa física de la arquitectura del robot 14.

[0020] Las instrucciones del algoritmo 10 se almacenan en la memoria 22 y son ejecutadas por el procesador 20.

[0021] El robot 14 está equipado de, al menos, un sensor que constituye un periférico de entrada para introducir una señal de medida en la interfaz 26 del computador 12.

[0022] En el presente modo de realización, el robot 14 está equipado con un primer sensor 30 que consiste en una cámara fija respecto del robot de forma que su eje óptico coincide con la dirección longitudinal X del robot. Esta cámara puede generar periódicamente (es decir, con un primer periodo) una primera señal de medida que corresponda a una imagen en dos dimensiones del entorno observado. La cámara se caracteriza por un conjunto de

parámetros, como un tiempo de respuesta (que separa el instante de incidencia de un rayo luminoso sobre el objetivo de la cámara y el instante de emisión por la cámara de la señal de medida correspondiente), una frecuencia de adquisición, una resolución, un rango de longitudes de onda de observación, una apertura del campo de observación, etc.

5

[0023] El robot 14 está equipado con un segundo sensor 32 que consiste en un telemetro láser fijo respecto del robot, capaz de emitir un impulso láser según la dirección longitudinal X del robot y de recoger la energía reflejada por el entorno del robot, de forma que puede generar periódicamente (es decir, con un segundo periodo que eventualmente es diferente del del primer sensor) una señal de medida que corresponde a una distancia en dirección longitudinal entre el robot y un elemento de la escena (como un obstáculo). El telémetro se caracteriza por un conjunto de segundos parámetros, como un tiempo de respuesta (que separa el instante de emisión de un impulso láser y la generación de la señal de medida correspondiente), una frecuencia de adquisición, una resolución definida como el paso angular entre dos adquisiciones sucesivas, un rango de longitudes de onda de observación, etc.

10

15

[0024] El robot 14 está equipado de al menos un automatismo que constituye un periférico de salida y que puede recibir una señal de mando emitida por la interfaz 26 del computador 12.

20

[0025] En la presente solicitud, el término «automatismo» se utiliza en su sentido más amplio. Incluye: la cadena electrónica de procesamiento y de regulación que permite, a partir de una señal de mando, generar una señal de consigna; los medios eléctricos de alimentación del automatismo que permiten, gracias a la señal de consigna, aplicar una potencia eléctrica a los medios de accionamiento del automatismo; los medios de accionamiento que permiten, gracias a la potencia eléctrica aplicada, generar una potencia mecánica para el desplazamiento de piezas mecánicas del automatismo; y las piezas mecánicas del automatismo.

25

[0026] En el presente modo de realización, el robot 14 está equipado de un primer automatismo 40 que consiste en un sistema de propulsión que presenta un par de ruedas motrices 42 y un motor eléctrico 41 para arrastrar las ruedas 42 en rotación. Este primer automatismo se caracteriza por un conjunto de parámetros, como un tiempo de respuesta entre la recepción de la señal de mando y la modificación de la velocidad de rotación de las ruedas.

30

[0027] El robot 14 está equipado con un segundo automatismo 46 que consiste en un sistema de dirección que presenta una rueda directriz 48 y un motor eléctrico 47 propio para modificar el ángulo del plano de la rueda 48 respecto de la dirección longitudinal X del robot. Este segundo accionador está caracterizado por un conjunto de parámetros como un tiempo de respuesta entre la recepción de la señal de mando y la modificación de la orientación de la rueda directriz 46 respecto del eje longitudinal del robot.

35

[0028] El computador 12 está pautado por el reloj 24 a un periodo de funcionamiento característico, por ejemplo de 10 ms. Es decir, que todos los 10 ms, el computador 12 trata las primeras y las segundas señales de medida que se introducen en la interfaz 26 y emite las primeras y segundas señales de orden a través de la interfaz 26.

40

[0029] En referencia a la figura 2, el sistema de validación 100 presenta una plataforma 110 y el dispositivo para validar 8.

45

[0030] De forma general, la plataforma 110 presenta una capa física y una capa lógica. La plataforma 110 presenta un medio de cálculo, como un microprocesador 220, un medio de memorización, como una memoria 222 y una interfaz de entrada/salida 226.

50

[0031] El microprocesador 222 puede ejecutar las instrucciones de un programa de simulación 300 que se almacenan en la memoria 222.

[0032] Cada conector de la interfaz de entrada/salida 26 del computador 12 está conectado, por medio de una conexión adaptada, a un conector unido a la interfaz de entrada/salida 226 de la plataforma 110.

55

[0033] Como se describirá más adelante, la plataforma 110, al sustituir a los sensores del robot, puede introducir en el computador 12 señales de medida simuladas. La plataforma 110 también puede, al sustituir a los automatismos del robot, recibir a la salida del computador 12 las señales de mando generadas por el computador 12 y que son el resultado del procesamiento de las señales de medida simuladas.

[0034] La ejecución del algoritmo 10 por el procesador 20 del computador 12 está pautada por una señal de reloj emitida por el reloj 24. La emisión de dicha señal de reloj está controlada por una señal de control generada por la plataforma 110 y aplicada al reloj 24 a través de una conexión de control específica, indicado por el número 128 en la figura 2, entre la interfaz 226 y la interfaz 26.

[0035] Como se representa esquemáticamente en la figura 3, el programa de simulación 300 presenta un módulo de configuración 310, del primer y segundo módulo, 320 y 330, de simulación de la respuesta del primer y segundo sensor 30 y 32 respectivamente, un módulo de simulación de la dinámica del robot 340 y un módulo de planificación temporal 350.

[0036] El módulo de configuración 310 está diseñado para permitir a un usuario crear un entorno virtual en tres dimensiones en cuyo interior se sumerge virtualmente el robot y con el que este interactúa virtualmente. El módulo 310 permite crear una representación gráfica en tres dimensiones del entorno (incluida la textura de los elementos, un renderizado realista de los fenómenos de sombra y de luminosidad, etc.), así como una representación física de los elementos del entorno (coeficiente de adherencia de un camino, dureza de un obstáculo, coeficiente del reflejo de las ondas del telémetro en una pared, etc). El módulo 310 está diseñado, asimismo para permitir la configuración de las modelizaciones utilizadas por cada uno de los módulos y submódulos de simulación.

[0037] El primer módulo 320 puede simular la respuesta del primer sensor 30. Está diseñado para generar una primera señal de medida simulada, a partir de una modelización del comportamiento del primer sensor 30 del robot (modelización que integra los diferentes parámetros característicos del primer sensor) y de datos de entrada conformados por el entorno virtual que se ha creado a través del módulo 310 y de las magnitudes cinemáticas instantáneas del robot proporcionadas por el módulo 340.

[0038] De forma similar, el segundo módulo 330 puede simular la respuesta del segundo sensor 32 del robot. El módulo 330 está diseñado para generar una segunda señal de medida simulada, a partir de una modelización del comportamiento del segundo sensor 32 (modelización que integra los diferentes parámetros característicos de este segundo sensor) y de datos de entrada conformados por el entorno virtual que ha sido creado y las magnitudes cinemáticas instantáneas del robot.

[0039] El módulo de simulación de la dinámica del robot 340 puede simular el comportamiento dinámico del robot. El módulo 340 está diseñado para calcular las magnitudes cinemáticas y dinámicas instantáneas del robot. El módulo 340 presenta un primer submódulo de simulación de la respuesta del primer automatismo 342, un segundo submódulo de simulación de la respuesta del segundo automatismo 344, y un submódulo 346 de cálculo de las magnitudes cinemáticas y dinámicas.

[0040] El primer submódulo 342 puede simular la respuesta del primer automatismo 40 del robot. El submódulo 342 está diseñado para generar un primer conjunto de datos dinámicos en el instante corriente, a partir de una modelización del primer automatismo 40 (modelización que integra los diferentes parámetros característicos de este primer automatismo), de datos de entrada conformados por el entorno virtual que se ha creado gracias al módulo 310 y de una primera señal de mando emitida por el computador en el instante corriente.

[0041] De forma similar, el segundo submódulo 344 puede simular la respuesta del segundo automatismo 46 del robot. El submódulo 344 está diseñado para generar un segundo conjunto de datos dinámicos en el instante corriente, a partir de una modelización del segundo automatismo 46 (modelización que integra los diferentes parámetros característicos de este segundo automatismo), de datos de entrada constituidos por el entorno virtual que ha sido creado y de una segunda señal de mando emitida por el computador en el instante corriente.

[0042] El submódulo 346 puede calcular los valores de las magnitudes cinemáticas y dinámicas del robot en el instante corriente a partir de una modelización de la dinámica del robot y del primer y segundo conjunto de datos dinámicos en el instante corriente proporcionados por el primer y segundo submódulo de simulación de la respuesta de un automatismo, 342 y 344, y de las magnitudes cinemáticas y dinámicas del robot en el instante anterior.

[0043] El programa 300 presenta un módulo de planificación temporal 350 que puede gestionar todos los datos generados por el módulo o submódulo del programa 300 de modo que garantiza su coherencia temporal para simular la interacción en tiempo real entre el robot y el entorno.

[0044] Más precisamente, el módulo 350 puede controlar el instante en que se realiza una acción, ya sea

esta una acción de simulación, definida como la ejecución de un módulo de entre los módulos 320, 330 y 340 de la plataforma 110, o una acción de reacción del robot, definida como la ejecución del algoritmo 10 por el computador 12 para el procesamiento de las señales de medida.

5 **[0045]** En particular, el módulo 350 está diseñado para fechar los datos generados durante la realización de una acción.

[0046] Para ello, el módulo de planificación temporal 350 presenta un esquema de planificación 400, un reloj lógico 410, un submódulo de gestión de un reloj lógico 420, un submódulo de lectura del esquema de planificación
10 430, un submódulo de llamada de una acción de simulación 440 y un submódulo de llamada de una acción de reacción del robot 450.

[0047] El esquema de planificación 400 consiste en una tabla que indica la cronología de realización de las diferentes acciones. Más concretamente, el esquema 400 asocia a cada instante una lista de acciones para realizar.

15 **[0048]** El paso de tiempo entre dos instantes sucesivos del esquema de planificación 400 es inferior al periodo más corto que caracteriza los diferentes procesos elementales utilizados en el robot 14. Este paso de tiempo del esquema de planificación se elige de forma que haya un número múltiple entero que permite pasar de ese paso de tiempo a cada una de las frecuencias de repetición. Por ejemplo, si el periodo característico de funcionamiento del computador 12 del robot es de 10 ms, el tiempo de respuesta del primer sensor 30 es de 5 ms con un periodo de repetición de 10 ms, el tiempo de respuesta del segundo sensor 32 es de 20 ms con un periodo de repetición de 20 ms, el tiempo de respuesta del primer automatismo 40 es de 5 ms y el tiempo de respuesta del segundo automatismo 46 es de 4 ms, el paso de tiempo del esquema de planificación se elegirá por ejemplo en 1 ms.

25 **[0049]** Un reloj lógico 410 es una variable entera. Cada unidad del reloj lógico corresponde a un instante del esquema de planificación 400. El valor actual del reloj lógico proporciona el instante lógico corriente.

[0050] El submódulo de gestión del reloj lógico 420 está diseñado para incrementar el reloj lógico 410 en una unidad. El submódulo 420 recibe una llamada cuando se hayan realizan todas las acciones asociadas en el
30 esquema 400 al instante lógico corriente. Después de que al reloj se le ha añadido una unidad, el submódulo de gestión 420 puede llamar al submódulo de lectura 430.

[0051] El submódulo de lectura 430 está diseñado para leer el instante lógico corriente, proporcionado por el reloj lógico 410, y después leer el esquema de planificación 400 para determinar las acciones que se van a ejecutar
35 en el instante lógico corriente.

[0052] Si la acción es una acción de simulación que corresponde a la ejecución de un módulo de la plataforma 110, el submódulo de lectura 430 inicia el submódulo de llamada de una acción de simulación 440 indicándole el módulo de simulación que debe ejecutar.

40 **[0053]** Al contrario, si la acción es una acción de reacción del robot, correspondiente a la ejecución del algoritmo 10 por el computador 12, el submódulo de lectura 430 inicia el submódulo de llamada a una acción de reacción del robot 450.

45 **[0054]** El submódulo de llamada a una acción de simulación 440 puede iniciar la ejecución del módulo de simulación que se le indique. El submódulo 440 introduce en el módulo de simulación requerido los datos de entrada que tengan una fecha compatible con el instante lógico corriente.

[0055] Tras la ejecución del módulo de simulación requerido, el submódulo 440 puede fechar los datos generados a la salida del módulo de simulación requerido, con una fecha correspondiente al instante lógico corriente.

[0056] Los datos fechados se almacenan en la memoria 222 de la plataforma 110 para utilizarlos
50 ulteriormente como datos de entrada de otro módulo de simulación o del algoritmo 10.

55 **[0057]** El submódulo de llamada a una acción de reacción del robot 450 está diseñado para aplicar, sobre la interfaz 26 del computador 12, señales de medida simuladas que han sido generadas por los módulos de simulación de la respuesta de los sensores 320, 330, y cuya fecha cumple un criterio de compatibilidad con el instante lógico corriente.

- [0058]** Este criterio de compatibilidad consiste, por ejemplo, en un intervalo de tiempo que separa la fecha de generación de los datos del instante lógico corriente, inferior a una duración predeterminada. Esta duración predeterminada corresponde a la duración teórica de realización del proceso simulado por el módulo de simulación que ha generado los datos. Así, para el módulo de simulación del primer sensor, esta duración teórica es de 5ms, para el módulo de simulación del segundo sensor, de 20 ms, etc.
- [0059]** El submódulo 450 también puede sincronizar el reloj 24 del computador 12 para que este realice la ejecución del algoritmo 10. Para ello, el submódulo 450 emite una señal de control, a través del enlace 128, al computador 12 que realiza entonces la ejecución del algoritmo 10.
- [0060]** La ejecución del algoritmo 10 conduce al procesamiento de las señales de medida que se encuentran, en el instante corriente, introducidas en la interfaz 26 del computador 12 y a la generación de señales de mando sobre la salida de la interfaz 26 del computador 12.
- [0061]** Después del procesamiento de las señales de medida y de la generación de las señales de mando, el funcionamiento del procesador 22 queda suspendido hasta la recepción de la siguiente señal de control, es decir, después de una duración lógica de 10 ms.
- [0062]** El submódulo 450 puede fechar los datos generados a la salida del computador 12 con una fecha que corresponda al instante lógico corriente al que se le añade la duración de la generación de las señales de orden por el computador 12 sobre la interfaz 26. Esta duración corresponde al tiempo de procesamiento del computador 12 entre la recepción de las señales de medida por la interfaz 26 y la emisión de las señales de medida por la interfaz 26. Las señales de medida que se fechan así se almacenan en la memoria 222 para poder ser utilizadas como datos de entrada por un módulo de simulación de la respuesta de un accionador, 342 o 344.
- [0063]** Ventajosamente, el programa de simulación 300 presenta igualmente un módulo de seguimiento 360 que puede proporcionar, para cada instante lógico, los datos cinemáticos y dinámicos del robot, los datos que provengan de sensores del robot o de sensores virtuales colocados en el entorno (como cámaras parametrizables de observación de la escena). El módulo 360 permite que un usuario siga el desarrollo de la prueba con un transcurso del tiempo adaptado. En concreto, el usuario puede elegir un desarrollo a tiempo real, en cuyo caso, el paso de tiempo entre dos instantes lógicos sucesivos es igual al tiempo de un reloj real.
- [0064]** En referencia a la figura 4, el procedimiento de simulación consiste en la sucesión de las siguientes etapas:
- [0065]** En la etapa 1000 de incremento del reloj, el submódulo de gestión del reloj lógico 420 incrementa el reloj lógico 410 de una unidad y después llama al submódulo de lectura 430.
- [0066]** En la etapa 1010 de lectura del instante lógico corriente y del esquema de planificación, el submódulo de lectura 430 lee el instante lógico corriente, proporcionado por el reloj lógico 410, y después lee el esquema de planificación 400 para determinar las diferentes acciones que tiene que realizar en el instante lógico corriente.
- [0067]** Entonces, el procedimiento entra en un bucle 1015 para procesar sucesivamente cada acción que debe realizarse en el instante corriente.
- [0068]** Si la acción que se va a realizar corresponde a una acción de simulación, se inicia el submódulo 440 indicándole el módulo de simulación que hay que ejecutar.
- [0069]** En la etapa 1020 de llamada de un módulo de simulación, el submódulo 440 efectúa las siguientes etapas elementales:
- [0070]** En la etapa 1022 de introducción de datos fechados, el submódulo 440 introduce en el módulo de simulación requerido, los datos cuya fecha de validez sea compatible con el instante lógico corriente.
- [0071]** En la etapa 1024 de ejecución del módulo indicado, el submódulo 440 inicia la ejecución del módulo de simulación requerido.
- [0072]** En la etapa 1026 de datación de los datos generados, el submódulo 440 fecha los datos generados emitidos por el módulo de simulación ejecutado, con una fecha que corresponda al instante lógico corriente.

[0073] Los datos fechados se almacenan en la memoria 222 de la plataforma 110 para una utilización ulterior como datos de entrada de un módulo de simulación o del algoritmo 10.

[0074] Sin embargo, si la acción que se va a realizar corresponde a una acción de reacción del robot, se inicia el submódulo 450.

[0075] En la etapa 1030 de ejecución del algoritmo 10, el submódulo 450 efectúa las siguientes etapas elementales:

[0076] En la etapa 1032 de aplicación de las señales fechadas, el submódulo 450 aplica sobre la interfaz 26 del computador 12, señales de medida simuladas generadas que han emitido los módulos de simulación de la respuesta de los sensores 320, 330, y cuya fecha sea compatible con el instante lógico corriente.

[0077] En la etapa 1034 de emisión de la señal de control del reloj del computador, el submódulo 450 aplica una señal de control que puede sincronizar el reloj 24 del computador 12 para que este retome la ejecución del algoritmo 10.

[0078] La ejecución del algoritmo 10 conduce entonces al procesamiento de las señales de medida introducidas en la interfaz 26 del computador 12 y a la emisión de señales de mando a la salida de la interfaz 26 del computador 12.

[0079] Por último, en la etapa 1036 de datación de las señales de mando, el submódulo 450 fecha las señales de mando generadas emitidas por el computador 12 con una fecha correspondiente al instante lógico corriente incrementado con la duración de la generación de las señales de mando por el computador 20. Esta duración corresponde al tiempo de procesamiento del computador 12 entre la recepción de las señales introducidas en la interfaz 26 y de la emisión de las señales de mando sobre la interfaz 26.

[0080] Las señales de mando así datadas se almacenan en la memoria 222 para poder ser utilizadas por un módulo de simulación de la respuesta de un automatismo 342 o 344.

[0081] Una vez que se han realizado todas las acciones que se deben efectuar para el instante lógico corriente, el procedimiento sale del bucle 1015 y regresa a la etapa 1000 en la que el módulo de gestión del reloj 420 incrementa de una unidad el reloj 410 para pasar al instante lógico siguiente del esquema 400.

[0082] En el presente modo de realización, la plataforma 110 se utiliza para la prueba del comportamiento de un único dispositivo para validar. Así, un único computador 12 depende de la plataforma. En una variante, la plataforma permite que se realicen pruebas simultáneas sobre N dispositivos para validar, correspondientes a N robots que actúan simultáneamente en un mismo entorno, un robot es un actor del entorno percibido por otro robot. Para ello, se conectan N computadores a la plataforma de simulación que presenta, por lo tanto, una interfaz de entrada/salida adaptada. La plataforma presenta entonces, asociada a cada dispositivo para validar y al robot correspondiente, un par de módulos constituido por un módulo de simulación de una respuesta de cada sensor del robot y un módulo de simulación de la dinámica del robot.

[0083] En una variante, la plataforma permite que se realice una prueba de un dispositivo para validar correspondiente a un primer robot llamado a actuar en un entorno en el que haya un segundo robot. Para ello, la plataforma está adaptada para simular el comportamiento del segundo robot.

[0084] En el presente modo de realización, la plataforma 110 está preparada para realizar una prueba del comportamiento de un robot equipado con una cámara y un telémetro. En una variante, la plataforma permite probar un robot equipado con cualquier tipo de sensor conocido por un experto en la materia.

[0085] En otra variante independiente de las anteriores, el dispositivo para validar presenta una interfaz hombre/máquina para el intercambio de datos con un operador.

[0086] Hay que señalar que la descomposición en módulos del modo de realización presentado en detalle es específico para este modo de realización. Se pueden considerar otras descomposiciones. El experto en la materia sabrá cómo utilizar la invención en un contexto que presente otro reparto de los módulos de simulación.

[0087] En el modo de realización presentado detalladamente, el dispositivo para validar consta de un

computador que se implantará efectivamente sobre el robot. En una variante, el dispositivo para validar consta de un computador similar al que se implantará en el robot. En ese caso se trata de validar el algoritmo más que el computador que ejecuta el algoritmo. Según un modo de realización ventajoso, el computador se simplifica. En concreto, presenta, una interfaz más sencilla que la del computador que se instala a bordo del robot. Esta interfaz
5 simplificada permite intercambiar los mismos datos con la plataforma, pero reacondicionados lógicamente para modificar el tipo.

[0088] Por razones de claridad, en la presente descripción, se ha ejecutado un único algoritmo para un computador que consta de un único procesador. El experto en la materia comprenderá que la plataforma según la
10 invención permite validar cualquier tipo de arquitectura lógica y física del robot: se pueden ejecutar simultáneamente varios algoritmos sobre una o varias particiones de la capa física del computador del robot; varios procesadores pueden funcionar paralelamente; una arquitectura compartida del algoritmo para validar, etc.

[0089] Preferentemente, la plataforma según la invención tiene la forma de una carcasa única que presenta
15 las conexiones adaptadas para alimentar a uno o varios dispositivos para validar y, ventajosamente, para la conexión de un medio de interfaz que permite que un usuario configure la plataforma y recoja los datos de una prueba virtual.

[0090] La plataforma de simulación constituye una herramienta de prueba práctica, realista y rápida. Facilita
20 ventajosamente el prototipado de la arquitectura física y lógica de un robot (computadores, sensores, automatismos, etc.) a partir de unas especificaciones técnicas.

REIVINDICACIONES

1. Plataforma de simulación (110) para la validación de un dispositivo que presenta un computador (12) programado para ejecutar un algoritmo (10), dicho dispositivo está previsto para ser instalado a bordo de un robot y
5 conectado a un sensor (30, 32) del robot para recibir una señal de medida y a un automatismo (40, 46) del robot para transmitirle una señal de mando, la plataforma está prevista para ser conectada al computador y presenta un medio de cálculo adecuado para ejecutar las instrucciones de un programa de simulación (300) que consta de:
 - 10 – un módulo de configuración de un entorno en tres dimensiones (310), para crear un entorno virtual en tres dimensiones;
 - un módulo de simulación de una respuesta del sensor del robot (320, 330), diseñado para generar datos de salida que correspondan a señales de medida simuladas, a partir de una modelización del comportamiento del sensor del robot y de datos de entrada constituidos por el entorno virtual creado y por las magnitudes cinemáticas calculadas del robot, dichas señales de medida simuladas se
15 introducen en el computador del dispositivo;
 - un módulo de simulación de una dinámica del robot (340), diseñado para calcular las magnitudes cinemáticas del robot, a partir de una modelización del automatismo del robot y de datos de entrada que correspondan a los parámetros dinámicos característicos del robot, a las señales de orden emitidas por el computador del dispositivo y al entorno virtual creado,
20 **caracterizada porque** el programa de simulación presenta, además, un módulo de planificación temporal (350) que consta de:
 - 25 – un reloj lógico (410) que proporciona el instante lógico corriente;
 - un esquema de planificación (400), que asocia a cada instante lógico un conjunto de acciones que realizar;
 - un submódulo de llamada a una acción de simulación (440) diseñado para iniciar, en el instante lógico corriente proporcionado por el reloj lógico y en función del conjunto de las acciones asociadas a este
30 instante lógico corriente por el esquema de planificación, la realización de una acción de simulación que corresponda a la ejecución del módulo de simulación de la respuesta del sensor o del módulo de simulación de una dinámica del robot; y
 - un submódulo de llamada de una acción de reacción del robot (450) capaz de lanzar, en el instante lógico corriente proporcionado por el reloj lógico y en función del conjunto de acciones asociadas a este instante lógico corriente por el esquema de planificación, la realización de una acción de
35 respuesta del robot correspondiente al procesamiento por parte del computador del dispositivo de señales de medida simuladas introducidas en el computador en el instante lógico corriente, para generar señales de mando en el instante lógico corriente.
- 40 2. Plataforma según la reivindicación 1 en la que el módulo de simulación de una dinámica del robot (340) presenta:
 - un submódulo (342, 344) de simulación del automatismo del robot, que presenta una modelización del automatismo (40, 46) del robot; y
 - 45 – un submódulo de cálculo de las magnitudes cinemáticas y dinámicas (346) para calcular magnitudes cinemáticas y dinámicas del robot en el instante lógico corriente a partir de los datos de salida del módulo de simulación de la respuesta del automatismo del robot y de las magnitudes cinemáticas y dinámicas del robot en el instante precedente.
- 50 3. Plataforma según la reivindicación 1 o 2, en la que el submódulo de llamada (450) puede emitir una señal de control adaptada dirigida al computador del dispositivo, para sincronizar el reloj (24) del computador (12) para pautar la ejecución del algoritmo (10).
- 55 4. Plataforma según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que presenta una interfaz de entrada/de salida adaptada para permitir la conexión de dicha plataforma a una variedad de dispositivos para validar, en la que cada dispositivo está preparado para ser instalado en un robot correspondiente, y la plataforma, asociada a cada dispositivo y, por tanto a cada robot, presenta un par de módulos formados por un módulo de simulación de una

respuesta de un sensor de dicho robot y un módulo de simulación de la dinámica de dicho robot.

5. Procedimiento de simulación para la validación de un dispositivo compuesto por un computador (12) programado para ejecutar un algoritmo (10), dicho dispositivo está previsto para ser instalado a bordo de un robot y conectado a un sensor (30, 32) del robot para recibir una señal de medida y a un automatismo (40, 46) del robot para transmitirle una señal de mando, **caracterizado porque** dicho procedimiento se utiliza sobre una plataforma de simulación (110) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 conectado al computador del dispositivo, el procedimiento consiste en:
- 10 – crear un entorno virtual en tres dimensiones con el que interacciona dicho robot;
 - simular una respuesta del sensor del robot para generar datos de salida correspondientes a las señales de medida simuladas, a partir de una modelización del comportamiento del sensor del robot, y de datos de entrada constituidos por el entorno virtual creado y por las magnitudes cinemáticas calculadas del robot, dichas señales de medida simuladas se introducen en el computador del
 - 15 – simular una dinámica del robot para calcular las magnitudes cinemáticas del robot, a partir de una modelización del automatismo del robot y de los datos de entrada correspondientes a los parámetros dinámicos característicos del robot, a las señales de orden emitidas por el computador del dispositivo y al entorno virtual creado;
 - 20 – planificar temporalmente la llamada a una acción iniciando, en el instante lógico corriente proporcionado por el reloj lógico y en función del conjunto de las acciones asociadas a este instante lógico corriente por un esquema de planificación, la realización de una acción de simulación que corresponde a la ejecución del módulo de simulación de la respuesta del sensor o del módulo de simulación de una dinámica del robot o iniciando, en el instante lógico corriente proporcionado por el
 - 25 – reloj lógico y en función del conjunto de acciones asociadas a dicho instante lógico corriente por el esquema de planificación, la realización de una acción de respuesta del robot correspondiente al procesamiento por el computador del dispositivo de señales de medida simuladas introducidas en el computador en el instante lógico corriente, para la generación de señales de mando en el instante lógico corriente.
 - 30
 - 6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que el inicio de una acción de respuesta del robot conlleva:
 - 35 – la introducción en el computador (12) de una señal de medida simulada, con una fecha compatible con el instante lógico corriente;
 - la sincronización del reloj (24) del computador (12) que controla la ejecución del algoritmo (10) por la emisión en el instante lógico corriente de una señal de mando adaptada por la plataforma enviada al computador; y,
 - 40 – la datación de las señales de orden generadas emitidas por el computador con una fecha correspondiente al instante lógico corriente a la que se añade el tiempo de procesamiento del computador (12).

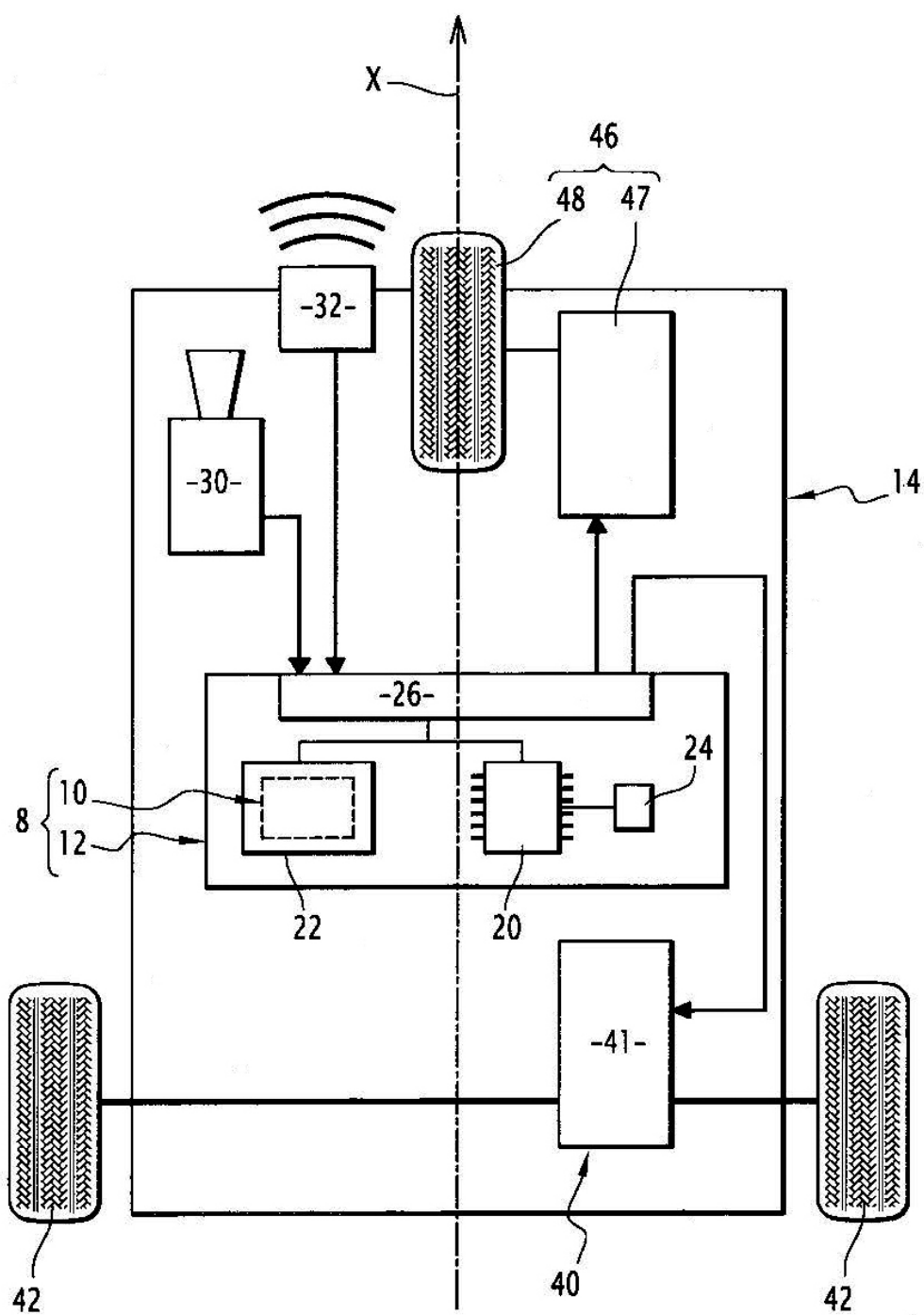


FIG.1

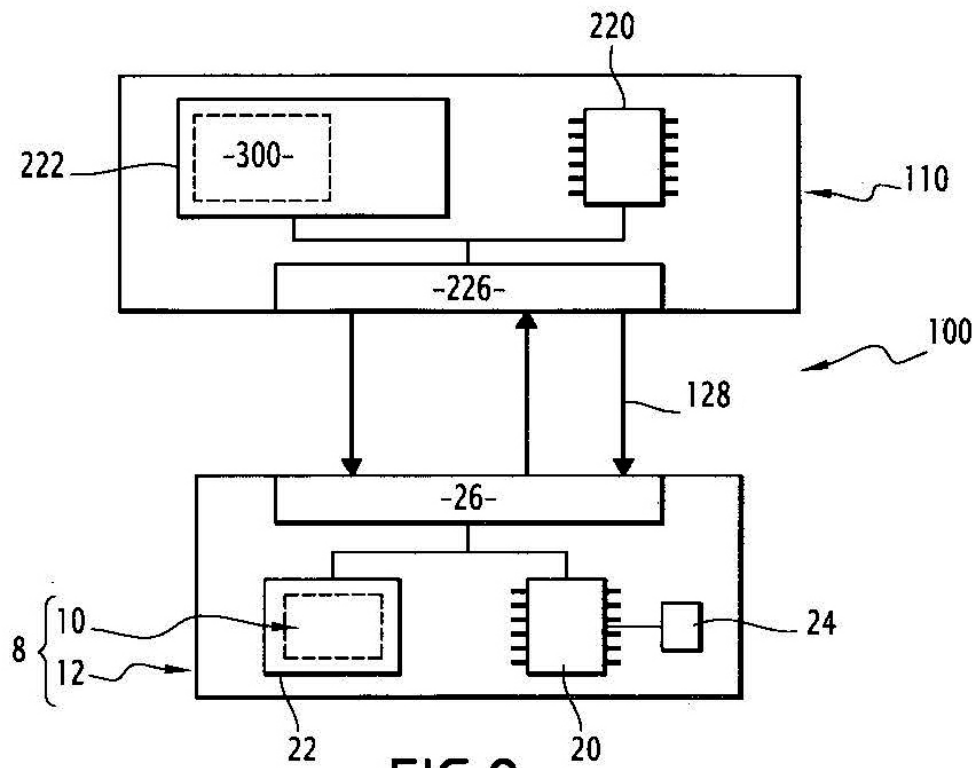


FIG. 2

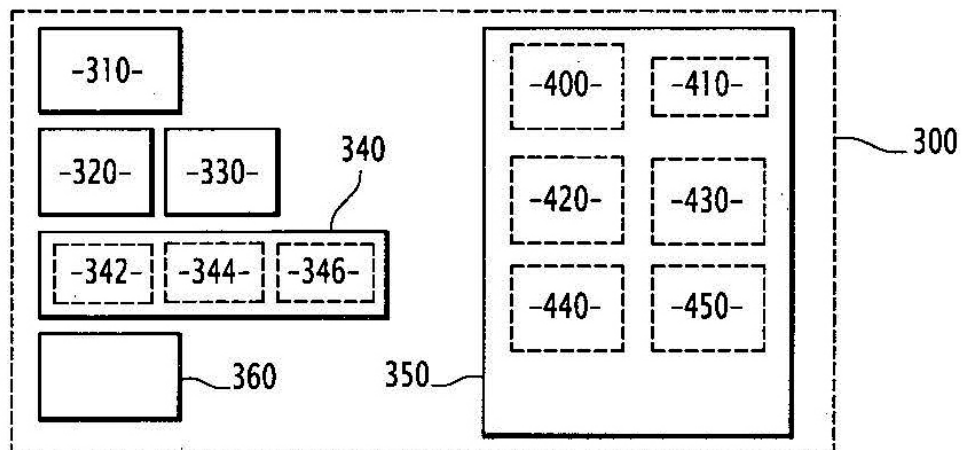


FIG. 3

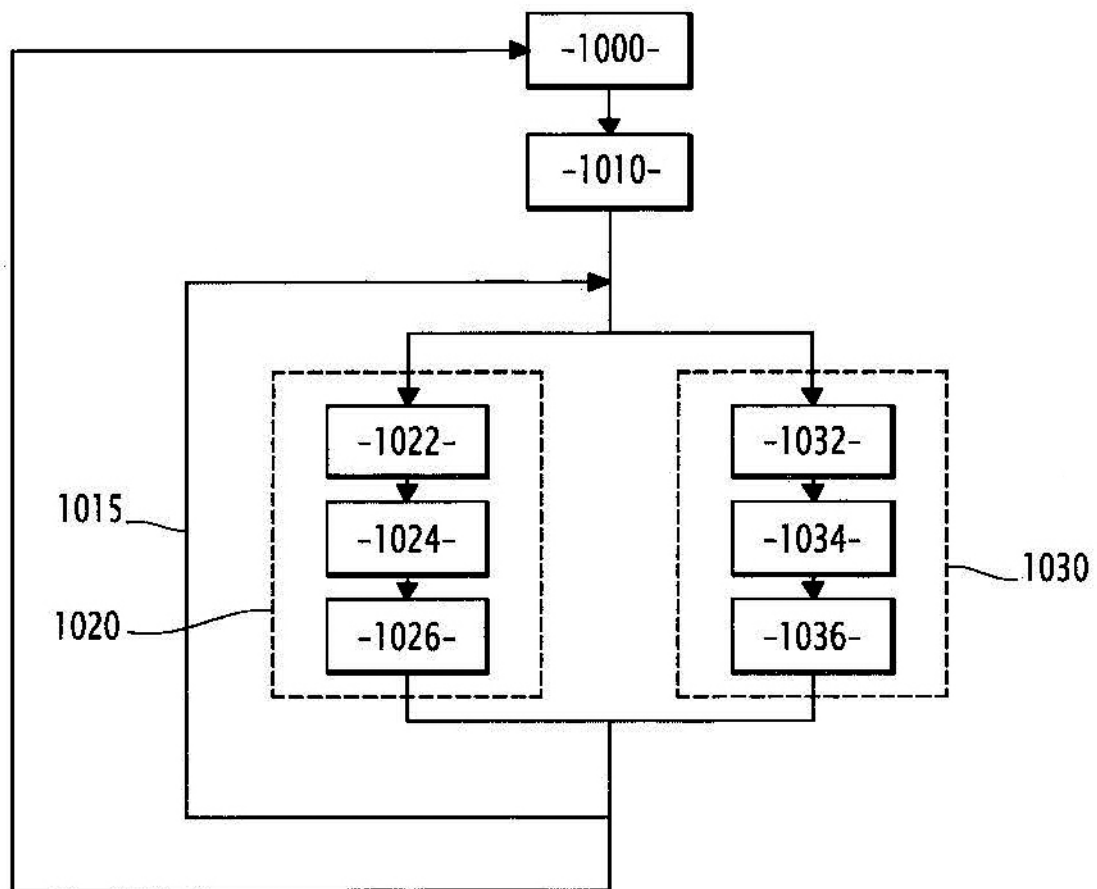


FIG.4